



**João Pedro Henriques  
Manso**

**Avaliação Energética e Ambiental de Edifícios de  
Habitação – Impacto da Utilização de Diferentes  
Sistemas Energéticos e Energia Primária**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor João António Esteves Ramos, Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Dedico este trabalho à minha família e amigos pelo seu apoio incondicional

## **O júri**

Presidente

**Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Doutor João António Esteves Ramos**

Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria (Orientador)

**Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho**

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Setúbal

## **Agradecimentos**

Embora uma dissertação seja, pela sua finalidade académica, um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem nem devem deixar de ser realçados. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Professor Doutor João Ramos pela sua disponibilidade e pelo apoio prestado, a todos os fornecedores, revendedores e representantes de marcas contactados, que facultaram dados essenciais à realização desta dissertação e aos meus colegas, familiares e a todos os que contribuíram de algum modo para a realização deste trabalho.

## Palavras-chave

Energia, Ambiente, Desenvolvimento Sustentável, RCCTE, Sistemas Energéticos, Microgeração, Energias Renováveis.

## Resumo

As transformações energéticas são uma das principais causas da poluição ambiental. De forma a promover a redução das emissões de gases de efeito de estufa e do consumo energético, é fundamental a aplicação dos princípios do desenvolvimento sustentável ao sector dos edifícios. Contabiliza-se que existam na União Europeia cerca de 164 milhões de edifícios, responsáveis por 40% da procura de energia final e 1/3 das emissões de gases de efeito de estufa. Edifícios sustentáveis são aqueles que têm o mínimo impacto negativo no ambiente natural e construído. Para a construção de edifícios sustentáveis, são necessárias várias medidas, desde a regulamentação energética, implementação de normas de conforto térmico, até à consciencialização dos intervenientes para utilização de soluções energeticamente eficientes. Neste contexto, são introduzidas várias soluções activas e passivas a adoptar nos edifícios, de forma a aumentar a sua performance energética.

Neste trabalho utilizou-se a metodologia de cálculo do novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), publicado no Decreto de Lei 80/2006 de 4 de Abril, tendo em vista a verificação do desempenho energético de uma moradia localizada nas Caldas da Rainha.

De modo a analisar e otimizar o desempenho energético da moradia foram estudados vários sistemas energéticos alternativos: diferentes equipamentos de climatização, geotermia e produção de águas quentes sanitárias; diferentes sistemas solares, com volumes do depósito de armazenamento distintos e diferentes sistemas de apoio; e diversos tipos de isolamentos térmicos. Foi ainda estimada a viabilidade da aplicação de tecnologias de microgeração, nomeadamente energia eólica e fotovoltaica.

Do estudo realizado obteve-se uma solução óptima com uma bomba de calor para aquecimento e arrefecimento, painéis solares SchücoSol S, com um depósito com um volume de armazenamento de 200L, com um sistema de apoio a gás butano e um isolamento térmico EPS de 80mm de espessura pelo interior. Esta alternativa concederia à moradia uma classe de desempenho máxima, A<sup>+</sup>, com necessidades nominais globais de energia primária de 1,05kg<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano, com base num investimento de aproximadamente 8000€, que seria compensador ao fim de 7 anos, e que permitiriam uma poupança de 45€ por mês relativamente à situação inicial do caso de estudo. Em termos ambientais haveria uma redução de 0,51 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, que se traduziriam numa redução de 12,5€ anuais.

Uma solução micro-eólica, com um investimento entre os 13000 e os 25000€, com um retorno de investimento entre os 5 e os 8 anos, renderia cerca de 3000€/ano. Já uma tecnologia fotovoltaica, com um período de retorno de 9-10 anos e um investimento entre os 26000 e os 30000 €, renderia aproximadamente 2900€/ano.

## Keywords

Energy, Environment, Sustainable Development, RCCTE, Energetic Systems, Microgeneration, Renewal Energies.

## Abstract

Energy transformations are one of the main causes of the environmental pollution. In order to promote the reduction of the energy consumption, it is fundamental to employ the sustainable development principles in the building sector. In the European Union, there are about 164 million buildings, responsible for 40% of the final energy demand and 1/3 of the emissions of greenhouse gases. Sustainable buildings are those that have the minimum negative impact in the natural and constructed environment. Different measures are necessary for the construction of sustainable buildings: since energy regulation, implementation of thermal comfort standards and the awareness of the intervening parts to the benefits of the use of energy efficient active and passive solutions.

In this work it was used the Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) calculation method, published on the Decreto de Lei 80/2006 from April 4<sup>th</sup>, to verify de energetic performance of one residence located in Caldas da Rainha.

To analyse and optimize the building energy performance it was studied several alternative energetic systems: different climatic equipments, geothermal and heating sanitary water production; different solar panels, with distinct storage deposit volumes and different backup systems; and diverse thermal isolations types. It was also estimated the viability of microgeneration solutions like wind turbines and photovoltaic solar systems.

From the results it was achieved a first-class solution with a heat pump to heating and cooling, SchücoSol S solar panels with a 200l storage deposit and butane backup system, and with 80mm EPS thermal isolation from the inside. This alternative conceives the highest performance class, A<sup>+</sup>, to the building, with global nominal needs of primary energy equal to 1,05kgep/m<sup>2</sup>.year, through an investment of approximately 8000€, worthwhile in 7 years, allowing a saving of 45€ month if we compare with the study case in his initial form. Environmental, it would have a CO<sub>2</sub> reduction of 0,51tons year, or 12,5€ annual savings.

A micro-eolic solution, with an investment between 13000 and 25000€, and a 5 to 8 years payback, would generate about 3000€/year. In other side, a photovoltaic technology, with 9-10 years to repay the investment of 26000 to 30000€, would produce approximately 2900€/year.

# ÍNDICE GERAL

<b>ENQUADRAMENTO.....</b>	<b>1</b>
<b>1. ENERGIA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>3</b>
1.1. O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE .....	3
1.2. AMBIENTE .....	4
1.3. ENERGIA.....	5
1.4. CARACTERIZAÇÃO DO SECTOR ENERGÉTICO EM PORTUGAL.....	6
<b>2. FÍSICA E REGULAMENTAÇÃO DOS EDIFÍCIOS .....</b>	<b>11</b>
2.1. CONFORTO TÉRMICO .....	11
2.1.1. <i>Mecanismos de Transmissão de Calor em Edifícios</i> .....	12
2.1.2. <i>Conceito de Ponte Térmica</i> .....	14
2.2. REGULAMENTAÇÃO ENERGÉTICA .....	17
2.2.1. <i>Enquadramento e Objectivos</i> .....	17
2.2.2. <i>Legislação Nacional</i> .....	17
2.2.3. <i>Âmbito de Aplicação</i> .....	18
2.2.4. <i>Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios</i> .....	19
2.2.5. <i>Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios</i> .....	20
2.2.6. <i>A Certificação Energética de Edifícios</i> .....	21
<b>3. PREVISÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS .....</b>	<b>23</b>
3.1. CÁLCULO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS NOMINAIS .....	23
3.1.1. <i>Necessidades Nominais de Aquecimento</i> .....	24
3.1.2. <i>Necessidades Nominais de Arrefecimento</i> .....	29
3.1.3. <i>Necessidades de Águas Quentes Sanitárias</i> .....	33
3.1.4. <i>Necessidades Globais de Energia Primária</i> .....	35
3.2. REQUISITOS MÍNIMOS REGULAMENTARES .....	36
3.2.1. <i>Envolvente Opaca</i> .....	36
3.2.2. <i>Vãos Envidraçados</i> .....	38
3.3. REQUISITOS ENERGÉTICOS .....	39
3.3.1. <i>Limitação das Necessidades Nominais de Energia Útil para Aquecimento</i> .....	39
3.3.2. <i>Limitação das Necessidades Nominais de Energia Útil para Arrefecimento</i> .....	41
3.3.3. <i>Limitação das Necessidades Nominais de Energia Útil para Produção de Águas Quentes Sanitárias</i> .....	42
<b>4. CASO DE ESTUDO – AVALIAÇÃO FACE AO RCCTE .....</b>	<b>45</b>
4.1. INTRODUÇÃO E DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	45
4.2. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA .....	47
4.2.1. <i>Caracterização Térmica das Soluções Construtivas</i> .....	47
4.2.2. <i>Cumprimento dos Requisitos Regulamentares</i> .....	49
4.3. AQS – ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS .....	51
4.3.1. <i>Conceitos Gerais do SolTerm</i> .....	51
4.3.2. <i>Cálculo das Necessidades de Energia para a preparação de AQS utilizando o SolTerm 52</i>	
<b>5. SISTEMAS ENERGÉTICOS ALTERNATIVOS .....</b>	<b>59</b>
5.1. EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS .....	59
5.1.1. <i>Análise Energética</i> .....	59
5.1.2. <i>Análise Económica</i> .....	60
5.1.3. <i>Análise Ambiental</i> .....	62
5.1.4. <i>Alternativa mais vantajosa</i> .....	63
5.2. SISTEMAS SOLARES .....	63
5.3. ISOLAMENTO TÉRMICO.....	65

5.4.	ENERGIA GEOTÉRMICA.....	66
5.4.1.	<i>Descrição da Tecnologia</i> .....	67
5.4.2.	<i>Aplicação ao Caso de Estudo</i> .....	68
<b>6.</b>	<b>MICROGERAÇÃO .....</b>	<b>69</b>
6.1.	ENERGIA EÓLICA.....	69
6.1.1.	<i>Descrição da Tecnologia</i> .....	70
6.1.2.	<i>Aplicação ao Caso de Estudo</i> .....	70
6.2.	ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	72
6.2.1.	<i>Descrição da Tecnologia</i> .....	72
6.2.2.	<i>Aplicação ao Caso de Estudo</i> .....	74
<b>7.</b>	<b>PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>77</b>
<b>8.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>81</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
A.1.	FOLHA DE CÁLCULO PARA A SITUAÇÃO INICIAL .....	86
A.2.	ORÇAMENTO PARA UMA SOLUÇÃO GEOTÉRMICA .....	103
A.3.	CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR.....	106



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: EFEITO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS GLACIARES AO LONGO DO ÚLTIMO SÉCULO .....	1
FIGURA 2: UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS .....	3
FIGURA 3: DIMENSÃO AMBIENTAL, ECONÓMICA E SOCIAL DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	4
FIGURA 4: EMISSÕES DE GEE E COMPROMISSOS EM PORTUGAL PARA 2008-2012 .....	4
FIGURA 5: FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS .....	5
FIGURA 6: FONTES DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEIS .....	6
FIGURA 7: CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA EM PORTUGAL NO PERÍODO DE 1990 A 2005 .....	7
FIGURA 8: CONSUMO DE ENERGIA FINAL EM PORTUGAL NO PERÍODO DE 1990 A 2005 .....	7
FIGURA 9: PESO DO CONSUMO FINAL DE ENERGIA NOS PRINCIPAIS SECTORES DE ACTIVIDADE .....	8
FIGURA 10: RAZÃO ENTRE O CONSUMO ANUAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS E O CONSUMO TOTAL DE ENERGIA FINAL .....	8
FIGURA 11: CONTRIBUTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO .....	9
FIGURA 12: EVOLUÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO .....	9
FIGURA 13: EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> E GEE EM PORTUGAL NO PERÍODO DE 1990 A 2005 .....	10
FIGURA 14: EMISSÕES DE GEE POR SECTOR, EM PORTUGAL, NO ANO DE 2005 .....	10
FIGURA 15: MECANISMOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR EM EDIFÍCIOS .....	12
FIGURA 16: BALANÇO ENERGÉTICO NOS EDIFÍCIOS .....	14
FIGURA 17: PONTE TÉRMICA DEVIDO À TRANSIÇÃO ENTRE DIFERENTES MATERIAIS (PILAR DE BETÃO).....	15
FIGURA 18: PONTE TÉRMICA DEVIDO A ALTERAÇÕES DE ESPESSURA .....	15
FIGURA 19: PONTE TÉRMICA NUM CUNHAL .....	15
FIGURA 20: PONTE TÉRMICA DEVIDO À LIGAÇÃO DA LAJE COM A FACHADA .....	15
FIGURA 21: TERMOGRAFIA DE UMA FACHADA, ONDE SÃO VISÍVEIS AS ZONAS DE PONTES TÉRMICAS .....	16
FIGURA 22: APARECIMENTO DE BOLORES PROVOCADOS POR CONDENSAÇÕES NA ZONA DE PONTE TÉRMICA DA OMBREIRA DA JANELA E CAIXA DE ESTORE .....	16
FIGURA 23: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NUMA ZONA DE PONTE TÉRMICA (PILAR NUM CUNHAL), NUMA PAREDE COM ISOLAMENTO NA CAIXA-DE-AR .....	16
FIGURA 24: LINHAS ISOTÉRMICAS E LINHAS DE FLUXO DE CALOR NUMA ZONA DE PONTE TÉRMICA (PILAR NUM CUNHAL) .....	16
FIGURA 25: CLASSE ENERGÉTICAS DOS EDIFÍCIOS .....	20
FIGURA 26: ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO .....	21
FIGURA 27: CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR .....	22
FIGURA 28: NECESSIDADES DE AQUECIMENTO – BALANÇOS ENERGÉTICOS .....	23
FIGURA 29: NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO – BALANÇOS ENERGÉTICOS .....	24
FIGURA 30: FACTOR DE UTILIZAÇÃO DOS GANHOS TÉRMICOS, $\eta$ , EM FUNÇÃO DO PARÂMETRO Y E DA CLASSE DE INÉRCIA TÉRMICA INTERIOR . .....	28
FIGURA 31: EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA INTERIOR COM E SEM GANHOS DE CALOR E NECESSIDADES DE AQUECIMENTO .....	29
FIGURA 32: EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA INTERIOR COM E SEM GANHOS DE CALOR E NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO .....	30
FIGURA 33: ELEMENTOS DA ENVOLVENTE DE UMA FRACÇÃO AUTÓNOMA (A) CONFINANTE COM OUTRA FRACÇÃO AUTÓNOMA (B) DE UM MESMO EDIFÍCIO (EDIFÍCIO A) .....	37
FIGURA 34: ELEMENTOS DA ENVOLVENTE DE UMA FRACÇÃO AUTÓNOMA (A) DE UM EDIFÍCIO A CONFINANTE COM OUTRA FRACÇÃO AUTÓNOMA (B) DE UM EDIFÍCIO VIZINHO B .....	37
FIGURA 35: ELEMENTOS DA ENVOLVENTE INTERIOR E COEFICIENTE $\tau$ .....	38
FIGURA 36: ESQUEMA DA VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR – RCCTE 2006 .....	39
FIGURA 37: DEFINIÇÃO DO FACTOR DE FORMA .....	40
FIGURA 38: PLANTA DA CAVE.....	45
FIGURA 39: PLANTA DO RÉ-DO-CHÃO. ....	46
FIGURA 40: PLANTA DO SOTÃO. ....	46
FIGURA 41: PAREDE SIMPLES DE FACHADA COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR .....	50
FIGURA 42: COBERTURA INCLINADA COM ISOLANTE SOBRE A ESTEIRA HORIZONTAL .....	50

FIGURA 43: ETIQUETA ENERGÉTICA CUMPRINDO OS REQUISITOS REGULAMENTARES. ....	51
FIGURA 44: CONCELHO ONDE SE INSERE O CASO DE ESTUDO. ....	53
FIGURA 45: OBSTRUÇÕES DO HORIZONTE. ....	53
FIGURA 46: CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....	54
FIGURA 47: CARACTERÍSTICAS DO CONJUNTO DEPÓSITO/PERMUTADOR UTILIZADO. ....	55
FIGURA 48: CARGAS TÉRMICAS DO SISTEMA SOLAR. ....	55
FIGURA 49: SISTEMA TÉRMICO. ....	56
FIGURA 50: ANÁLISE ENERGÉTICA PARA O SISTEMA SOLAR DEFINIDO. ....	57
FIGURA 51: ETIQUETA ENERGÉTICA COM AQS. ....	58
FIGURA 52: ANÁLISE ENERGÉTICA ÀS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS. ....	59
FIGURA 53: CUSTO DE CADA ALTERNATIVA AO LONGO DE UM PERÍODO DE TEMPO. ....	62
FIGURA 54: ANÁLISE ÀS DIFERENTES ALTERNATIVAS. ....	63
FIGURA 55: CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA GEOTÉRMICA E PREVISÃO DAS TENDÊNCIAS FUTURAS .....	67
FIGURA 56: TIPOS DE CAPTAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA. ....	67
FIGURA 57: CUSTO AO LONGO DE UM PERÍODO DE 65 ANOS PARA A SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA E A SOLUÇÃO GEOTÉRMICA. ....	68
FIGURA 58: TURBINAS EÓLICAS DE EIXO VERTICAL (ESQ.) E DE EIXO HORIZONTAL (DIR.) .....	70
FIGURA 59: NÚMERO DE HORAS DE VENTO POR ANO NO CONTINENTE .....	71
FIGURA 60: PRINCIPAIS TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	73
FIGURA 61: CONVERSÃO DIRECTA DA RADIAÇÃO SOLAR EM ELECTRICIDADE .....	73
FIGURA 62: PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS. ....	74
FIGURA 63: INSOLAÇÃO MÉDIA ANUAL EM PORTUGAL CONTINENTAL .....	74
FIGURA 64: ANÁLISE COMPARATIVA DA APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES MICROEÓLICAS. ....	79

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO. PERDAS PARCELARES DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DAS ENVOLVENTES EXTERIOR E INTERIOR – SÍNTESE DAS EQUAÇÕES .....	25
TABELA 2: NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO. PERDAS PARCELARES DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE EM CONTACTO COM O SOLO E DAS PONTES TÉRMICAS LINEARES – SÍNTESE DAS EQUAÇÕES .....	25
TABELA 3: NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO. PERDAS DE CALOR POR RENOVAÇÃO DE AR, $Q_V$ – SÍNTESE DAS EQUAÇÕES .....	26
TABELA 4: NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO. GANHOS SOLARES BRUTOS, $Q_s$ – SÍNTESE DAS EQUAÇÕES .....	27
TABELA 5: NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO. GANHOS INTERNOS BRUTOS, $Q_i$ – SÍNTESE DAS EQUAÇÕES .....	28
TABELA 6: PERDAS ASSOCIADAS AOS ELEMENTOS DA ENVOLVENTE EXTERIOR .....	31
TABELA 7: PERDAS POR RENOVAÇÃO DE AR .....	31
TABELA 8: GANHOS INTERNOS .....	32
TABELA 9: GANHOS SOLARES ATRAVÉS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	32
TABELA 10: GANHOS INTERNOS ATRAVÉS DA ENVOLVENTE OPACA .....	33
TABELA 11: EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO PARA OS SISTEMAS CONVENCIONAIS DE PRODUÇÃO DE ÁGUAS QUENTES – VALORES POR DEFEITO. ....	34
TABELA 12: NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS .....	34
TABELA 13: EFICIÊNCIA NOMINAL DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO. ....	35
TABELA 14: ENVOLVENTE OPACA – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL – VALORES MÁXIMOS ADMISSÍVEIS – $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ). ....	36
TABELA 15: FACTORES SOLARES MÁXIMOS ADMISSÍVEIS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS. ....	38
TABELA 16: ENVOLVENTE OPACA E ENVIDRAÇADOS – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DE REFERÊNCIA NO CONTINENTE E REGIÕES AUTÓNOMAS, $U_{REF}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ), PARA ESTABELECEER OS VALORES LIMITES DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE REFERÊNCIA DE AQUECIMENTO $N_i$ . ....	41
TABELA 17: NECESSIDADES NOMINAIS DE REFERÊNCIA DE AQUECIMENTO – $N_i$ ( $kWh/m^2 \cdot ano$ ). ....	41
TABELA 18: NECESSIDADES NOMINAIS DE REFERÊNCIA DE ARREFECIMENTO – $N_v$ ( $kWh/m^2 \cdot ano$ ). ....	42
TABELA 19: EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS – CONSUMO ANUAL DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS. ....	43
TABELA 20: EDIFÍCIOS DE SERVIÇO – CONSUMO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS. ....	43
TABELA 21: CONSTITUIÇÃO DOS PISOS DA MORADIA. ....	47
TABELA 22: PAREDES EXTERIORES E COBERTURA. ....	48
TABELA 23: ENVOLVENTE INTERIOR. ....	48
TABELA 24: COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR. ....	48
TABELA 25: COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS. ....	49
TABELA 26: NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA CUMPRINDO OS REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE TÉRMICA. ....	49
TABELA 27: NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA DO CUMPRINDO OS REQUISITOS REGULAMENTARES. ....	51
TABELA 28: NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA COM SISTEMA SOLAR. ....	57
TABELA 29: DIFERENTES EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS ESTUDADOS. ....	59
TABELA 30: NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA DAS DIFERENTES ALTERNATIVAS. ....	60
TABELA 31: PREÇOS DOS EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS. ....	60
TABELA 32: ANÁLISE ECONÓMICA ÀS ALTERNATIVAS ESTUDADAS. ....	61
TABELA 33: EMISSÃO E CUSTO DE $CO_2$ PARA AS DIFERENTES ALTERNATIVAS. ....	62
TABELA 34: ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DE DIFERENTES PAINÉIS SOLARES PARA PREPARAÇÃO DE AQS. ....	64
TABELA 35: ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DO ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR. ....	65
TABELA 36: ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DO ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR. ....	66
TABELA 37: PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE O REGIME GERAL E O REGIME BONIFICADO. ....	69
TABELA 38: CUSTOS TÍPICOS DE AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DE UMA MICRO-EÓLICA. ....	71

TABELA 39: ESTUDO DA VIABILIDADE FINANCEIRA PARA DIFERENTES SOLUÇÕES DE MICRO-EÓLICA. ....	72
TABELA 40: CUSTOS TÍPICOS DE AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA. ....	75
TABELA 41: ESTUDO DA VIABILIDADE FINANCEIRA PARA DIFERENTES SOLUÇÕES SOLARES FOTOVOLTAICAS. .....	75
TABELA 42: NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA A SOLUÇÃO ÓPTIMA. ....	77
TABELA 43: ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE ECONÓMICA DA SOLUÇÃO ÓPTIMA COM A SOLUÇÃO GEOTÉRMICA E O CASO DE ESTUDO. ....	77
TABELA 44: ANÁLISE COMPARATIVA AMBIENTAL DA SOLUÇÃO ÓPTIMA COM A SOLUÇÃO GEOTÉRMICA E O CASO DE ESTUDO. ....	78
TABELA 45: DADOS FINANCEIROS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO DE MICROGERAÇÃO. ....	78

## ENQUADRAMENTO

Actualmente poucas dúvidas restam de que a Terra sofre um aquecimento global, provocado pela emissão crescente de gases de efeito de estufa, principalmente dióxido de carbono, libertado sobretudo na queima de combustíveis fósseis, e com graves consequências para a vida no planeta. Esse aquecimento não é igual em todo o planeta, como o comprova a subida da temperatura média no Ártico, que é cerca de duas vezes maior do que no resto do mundo. Esta evidência tem, como se percebe, consequências a nível global, uma vez que estas alterações de clima que têm vindo a ocorrer no Ártico – Figura 1 – se podem reflectir catastroficamente sobre o resto do planeta. Hoje é ponto assente que o derreter dos gelos tem como principal impacto o aumento do nível médio das águas do mar, podendo ser responsável pelo desaparecimento de inúmeras ilhas e até de países, como por exemplo a Holanda. A questão é muito complexa e os factores intervenientes variados, mas ainda assim é possível retirar algumas conclusões e prever tendências futuras, sempre baseadas obviamente em evidências científicas (Gore, 2006).



**Figura 1:** Efeito das Alterações climáticas nos glaciares ao longo do último século (Gore, 2006).

Deste modo um dos grandes desafios que a humanidade tem de ultrapassar é a problemática das alterações climáticas e degradação do meio ambiente. É sabido que estes desafios estão intimamente relacionados com o actual consumo de energia e as formas de a obter. Deste modo, quanto maior o consumo energético, mais rapidamente se levará à dissipação de várias matérias-primas e consequente crise ambiental.

No sector dos edifícios, um dos principais desafios é o aumento, por parte de população em geral, das exigências de conforto no interior das habitações, levado a um aumento na potência e no número dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, resultando num aumento do consumo energético.

De forma a ser possível um desenvolvimento sustentável, este aumento contínuo no consumo energético de energia primária não se pode manter. Uma das formas de reduzir este consumo energético é a utilização de soluções construtivas projectadas de forma a tirar partido das condições ambientais e, assim, reduzir as necessidades de utilização de sistemas de aquecimento e de arrefecimento. Pretende-se, porém, manter as condições de conforto interior. Desta forma é possível reduzir a energia consumida nos edifícios e ajudar a combater os problemas energéticos que cada vez mais nos preocupam.

O projecto de um edifício é uma actividade multi-disciplinar, onde todas as especialidades de Engenharia e Arquitectura dos edifícios e partes interessadas na obra têm de colaborar, logo desde a fase inicial do desenho esquemático do edifício. Para ser possível assegurar uma performance ambientalmente eficiente do edifício, esta colaboração tem de se manter durante todo o ciclo de vida do edifício – projecto, construção, utilização, remodelação, reabilitação e até na demolição. Só assim é provável que sejam tomadas as decisões “correctas”, sobre todos os pontos de vista, sendo esta afirmação especialmente verdadeira na fase de projecto conceptual do edifício, pois é nesta fase que se tomam as decisões que condicionam a performance final do

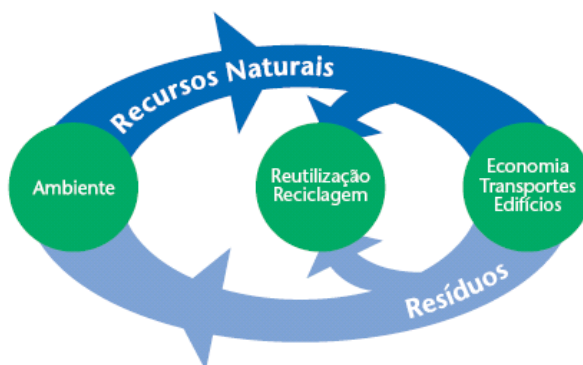
edifício. Como tal, para que se tomem medidas sustentadas, é necessário prever e avaliar a performance de todas as ideias, segundo vários critérios: conforto, estética, energia, impacto ambiental, economia, etc. Assim a fase de design é uma fase iterativa de geração de ideias, previsão e avaliação. No caso de previsões e avaliações erradas, a performance do edifício será diferente da esperada, ou seja, para minimizar o risco de fracasso da performance do edifício, é necessário tomar sempre decisões informadas.

Com o intuito de projectar soluções construtivas energeticamente eficientes, as ferramentas de cálculo de necessidades de consumo energético são instrumentos muito poderosos, possibilitando o teste de várias soluções propostas e a escolha daquela que apresente a maior eficiência energética. Com o aparecimento e crescente exigência da regulamentação térmica dos edifícios, a utilização destas ferramentas de cálculo torna-se imprescindível, para garantir que os edifícios apresentem performances térmicas melhores ou iguais às requeridas pelos respectivos regulamentos a que estão sujeitos (Da Silva, 2006).

# 1. ENERGIA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

## 1.1. O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

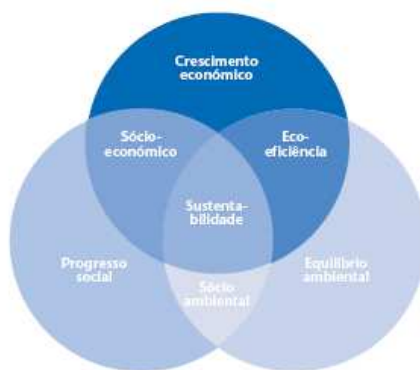
O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento económico também tem que levar em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida das populações humanas a nível global. A ideia de desenvolvimento sustentável tem por base o princípio de que o Homem deve gastar os recursos naturais de acordo com a capacidade de renovação desses recursos, de modo a evitar o seu esgotamento (Figura 2). Assim, entende-se por desenvolvimento sustentável aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras fazerem o mesmo.



**Figura 2:** Utilização dos recursos naturais (Almeida et. al., 2005).

A actividade económica, o meio ambiente e o bem-estar global da sociedade formam o tripé básico no qual se apoia a ideia de desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se estes três eixos evoluírem de forma harmoniosa. Assim, o conceito de desenvolvimento sustentável pode ser representado pela Figura 3 em que os três círculos representam as dimensões ambiental, económica e social associadas, sendo de salientar os seguintes aspectos (Almeida et. al., 2005):

- Os processos económicos, sociais e ambientais estão fortemente interligados;
- O desenvolvimento sustentável vai para além da conservação ambiental;
- As actividades desenvolvidas no presente e no médio prazo devem garantir a satisfação global das necessidades das gerações futuras;
- O desenvolvimento sustentável apela a mudanças estruturais a longo prazo na economia e no sistema social, com o objectivo de reduzir o consumo dos recursos naturais mantendo o potencial económico e a coesão social.

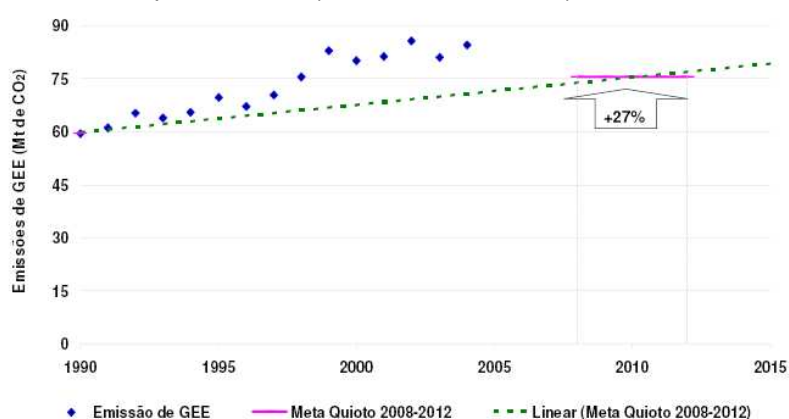


**Figura 3:** Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável (Almeida et. al., 2005).

## 1.2. AMBIENTE

O aquecimento global do planeta constitui uma das grandes preocupações da humanidade, pelas consequências nefastas em domínios tais como o aumento da temperatura média à superfície da terra, a subida do nível dos oceanos, a ocorrência de fenómenos climáticos de grande turbulência e cada vez com maior frequência. As alterações climáticas, provocadas sobretudo pelas emissões dos gases com efeito de estufa (GEE) decorrentes das actividades humanas, originaram já o esboço concertado de estratégias para a sua redução, envolvendo a generalidade dos países do globo. O Protocolo de Quioto, aprovado no âmbito das Nações Unidas em 1997, visa a reposição das emissões de gases com efeito de estufa, no período 2008-2012, nos níveis de emissão registados em 1990. Contudo, a emissão de gases com efeito de estufa resulta de actividades essenciais no quadro económico e social moderno, com destaque para a utilização de recursos energéticos de origem fóssil, por exemplo nos transportes e na indústria, e em algumas actividades industriais e agrícolas (DGE, 2001).

Dadas as condições económicas, ambientais e sociais, a UE estabeleceu que Portugal poderia aumentar as suas emissões de GEE em 27%, durante o período mencionado, objectivo esse cujo cumprimento se afigura muito problemático (Figura 4). No seu todo a União Europeia-15 apresentava no ano 2000 um excesso de 2% relativamente à trajectória de evolução linear das emissões de GEE no período 1990-2010 para o compromisso de Quioto, enquanto Portugal apresentava um excesso superior a 20% (Almeida et. al., 2005).



**Figura 4:** Emissões de GEE e compromissos em Portugal para 2008-2012 (Fernandes, 2007).

O sector energético está, assim, no centro da problemática das alterações climáticas, pelo seu impacto no que se refere à emissão de gases com efeito de estufa. A redução de emissões deste tipo de gases surge como uma das grandes linhas de orientação da política energética, a par da



redução da dependência externa, da valorização dos recursos energéticos endógenos e da redução dos custos da energia como factor de competitividade da economia. Os seguintes vectores da política energética nacional são fundamentais para a redução das emissões:

- Introdução e consolidação do gás natural como fonte de abastecimento de energia;
- Fomento das energias renováveis;
- Utilização racional de energia em todos os segmentos consumidores;
- Regulamentação da utilização de energia em edifícios, nos transportes, nos grandes consumidores industriais;
- Incorporação progressiva das externalidades resultantes do uso da energia nos preços de produtos energéticos.

Como instrumentos privilegiados para o sucesso das linhas de política enumeradas, salientam-se a política de preços de compra pela rede pública da electricidade produzida a partir de energias renováveis, a reforma fiscal dos combustíveis através da introdução de componentes ecológicas, os acordos voluntários com os grandes consumidores, a regulamentação energética de edifícios e políticas de apoio à introdução de novas tecnologias (DGE, 2001).

### 1.3. ENERGIA

Devido à redução do custo e massificação do uso da energia, desencadeado pela Revolução Industrial, aliado ao aumento dos padrões de vida das populações, o consumo energético teve um aumento exponencial. Como tal, este consumo exacerbado de energia levou à depleção de várias matérias-primas, assim como a uma crise ambiental. Apenas com estes indicadores ambientais deveriam ter sido tomadas medidas drásticas, de forma a travar este aumento do consumo energético. Mas foi com as crises petrolíferas de 1973 e 1979 que foram despoletadas medidas para reduzir o consumo energético e a elevada dependência do petróleo.

A energia pode ser utilizada na forma de calor ou potencial mecânico e é obtida de diversas formas – queima de combustíveis, divisão da estrutura nuclear de átomos, radiação solar, etc. (Sabady, 1979). As fontes de energia dividem-se em dois tipos: fontes renováveis ou alternativas; e fontes não renováveis, fósseis ou convencionais. As fontes de energia renováveis são inesgotáveis ou podem ser repostas a curto ou médio prazo, espontaneamente ou por intervenção humana. Estas fontes encontram-se já em difusão em todo o mundo e a sua importância tem vindo a aumentar ao longo dos anos representando uma parte considerável da produção de energia mundial (Figura 5).



**Figura 5:** Fontes de energia renováveis (Adaptado de EDP, 2008).

Actualmente a procura de energia assenta fundamentalmente nas fontes de energia não renováveis (Figura 6), as quais têm tecnologia difundida, mas possuem um elevado impacte

ambiental. Importa inverter esta tendência, tornando o seu consumo mais eficiente e substituindo-o gradualmente por energias renováveis limpas (EDP, 2008).



**Figura 6:** Fontes de energia não renováveis (Adaptado de EDP, 2008).

## 1.4. CARACTERIZAÇÃO DO SECTOR ENERGÉTICO EM PORTUGAL

A produção e utilização de energia estão na origem de vários problemas ambientais, associados, sobretudo, às emissões de poluentes para a atmosfera.

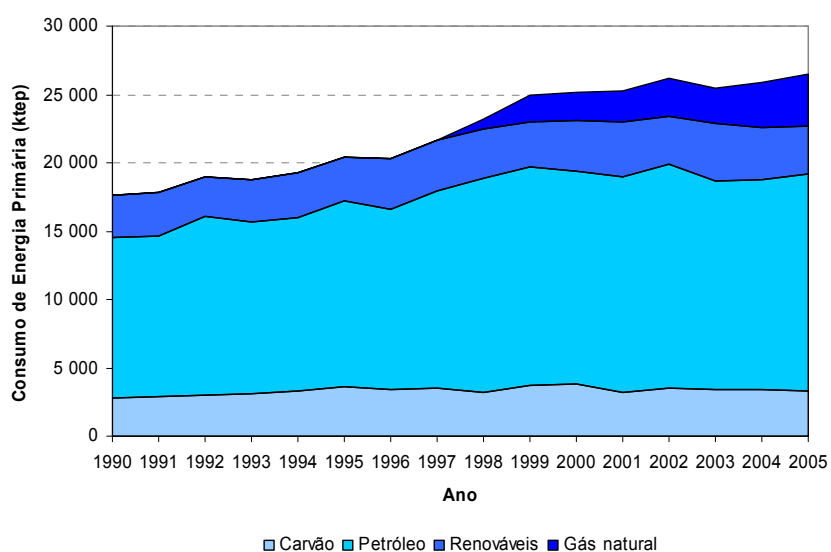
Portugal encontra-se dependente da energia importada, principalmente no que diz respeito aos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural). Apresenta, em contrapartida, um grande potencial de energias renováveis, ainda por explorar.

Relativamente ao consumo de energia final, são os sectores da indústria e dos transportes aqueles que apresentam maior peso. Os sectores serviços e doméstico têm vindo a aumentar o consumo energético, reflectindo a melhoria do bem-estar social e o desenvolvimento económico. Os indicadores agora apresentados apontam, contudo, para a necessidade de melhorar a eficiência energética do país (DGA, 1999).

### Consumo de Energia Primária

Entre 1990 e 2005, o consumo de energia primária em Portugal aumentou cerca de 6.8% (Figura 7).

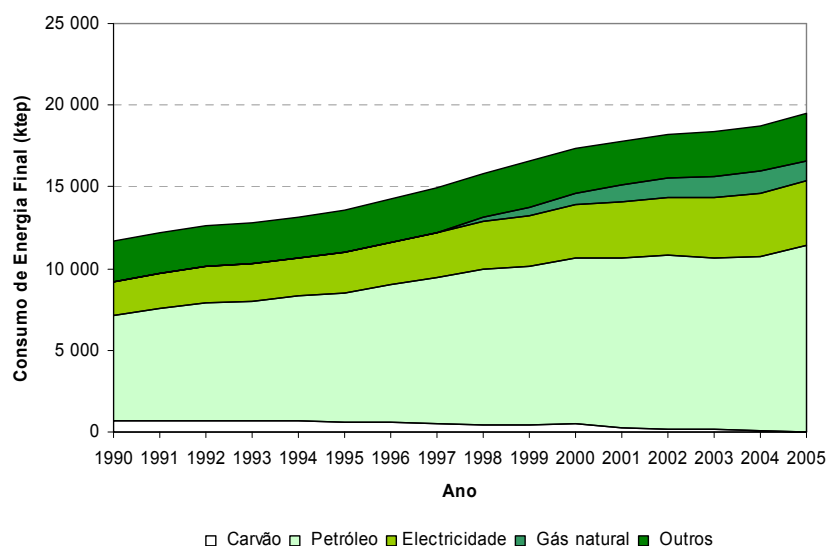
A introdução de gás natural no mercado nacional veio diversificar as ofertas de energia, permitindo desse modo reduzir a dependência exterior em relação ao petróleo. Em 2005, 14% do consumo interno bruto de energia primária era à base de gás natural. No entanto, o consumo de petróleo continua a aumentar paralelamente ao consumo de energia primária total. Esta fonte energética é a principal forma de abastecimento, representando 57,8% do consumo total de energia em 2005 (DGGE, 2008).



**Figura 7:** Consumo de Energia Primária em Portugal no período de 1990 a 2005 (DGGE, 2008).

### **Consumo de Energia Final**

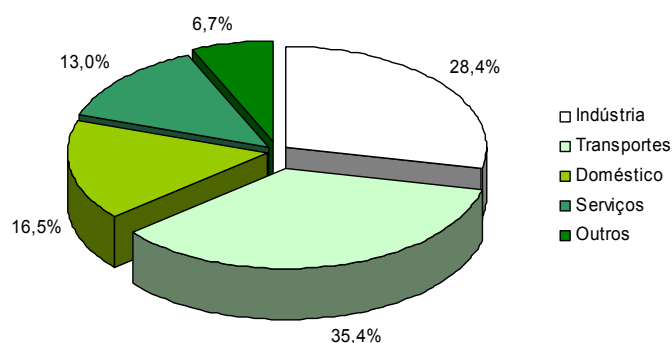
No período entre 1990 e 2005, o consumo de energia final sofreu um aumento próximo dos 40% (Figura 8). É de salientar que apenas o consumo de carvão diminuiu. O petróleo e a electricidade são as formas de energia mais consumidas.



**Figura 8:** Consumo de Energia Final em Portugal no período de 1990 a 2005 (DGGE, 2008).

Em 2005, o peso do consumo dos principais sectores de actividade económica relativamente ao consumo final de energia, foi de 28% na Indústria, 35% nos Transportes, 17% no Doméstico, 13% nos Serviços e 8% nos outros sectores (onde se inclui a Agricultura, Pescas, Construção e

Obras Públicas). O petróleo e a electricidade são as formas de energia final mais consumidas no balanço de todas as actividades económicas (Figura 9).

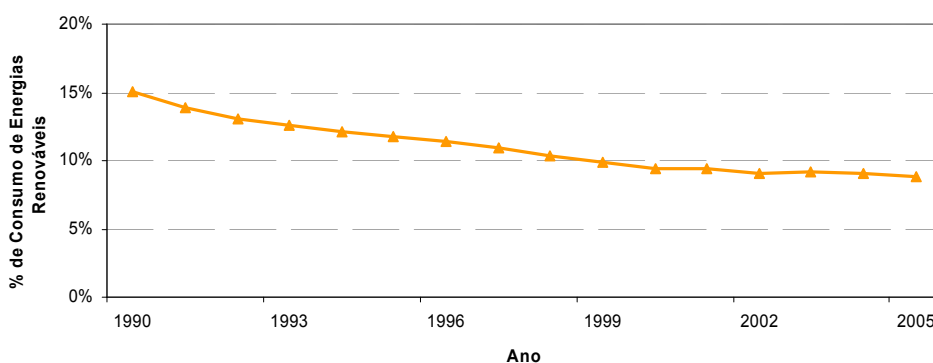


**Figura 9:** Peso do consumo final de energia nos principais sectores de actividade (DGGE, 2008).

## **Energias Renováveis**

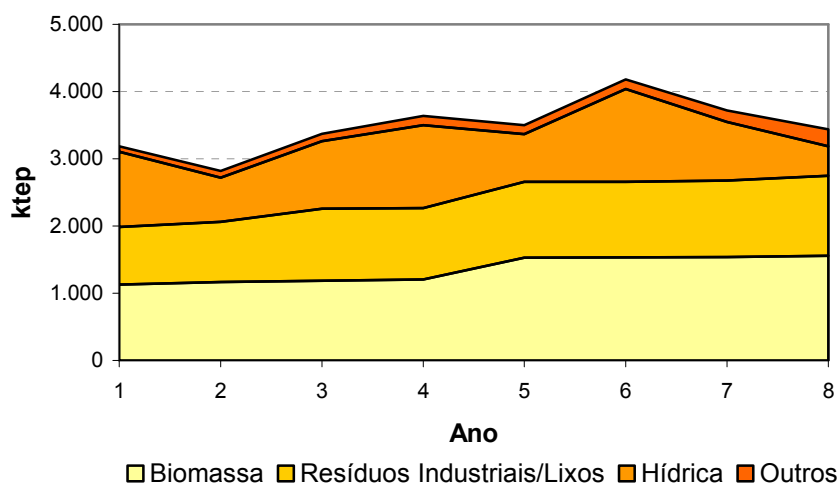
A utilização de fontes renováveis apresenta como vantagens reduzidos impactes ambientais, aproveitamento de fontes energéticas endógenas (limitando a dependência externa), e outros aspectos como a descentralização e aproveitamento em pequena escala, próximo dos centros consumidores.

A quota de fontes renováveis no consumo interno bruto de energia é, em Portugal, superior à da média dos Estados-membros da UE. No entanto, devido parcialmente ao crescente consumo de energia final, a razão entre o consumo anual de todas as fontes de energia renovável e o consumo total de energia final tem vindo a diminuir (Figura 10).



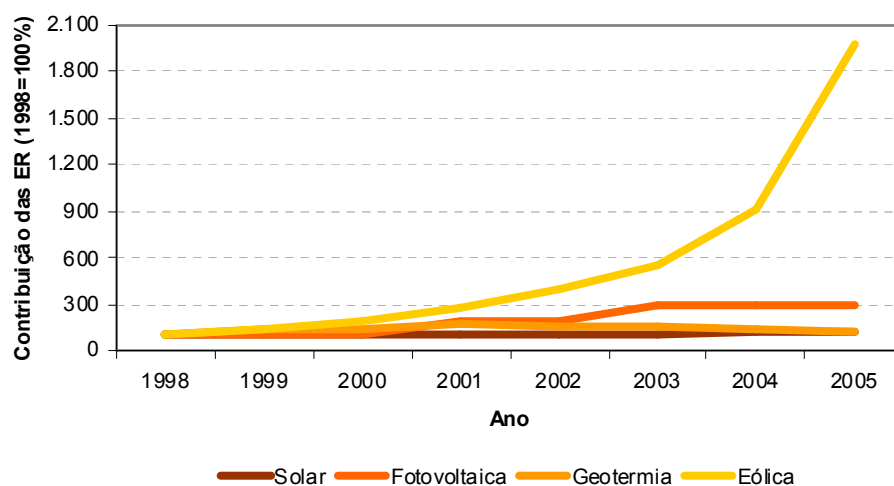
**Figura 10:** Razão entre o consumo anual das energias renováveis e o consumo total de energia final (DGGE, 2008).

As energias renováveis que mais contribuem para o balanço energético são a hídrica, a combustão de madeira e resíduos vegetais (Biomassa), e a combustão de lixo e resíduos industriais (Figura 11), sendo que a contribuição da energia hídrica apresenta grandes oscilações devido às variações hidrológicas anuais.



**Figura 11:** Contributo das energias renováveis para o balanço energético (DGGE, 2008).

A contribuição de outras formas de energias renováveis é pouco significativa no balanço energético. Contudo, algumas formas de energias renováveis tornam-se cada vez mais fiáveis, face ao progresso tecnológico, políticas de apoio e economias de escala. Algumas tecnologias já são economicamente viáveis ou aproximam-se desta situação, como é o caso da energia eólica, colectores solares térmicos e fotovoltaicos e energia geotérmica de alta entalpia. A Figura 12 mostra a evolução, relativamente ao ano de 1998, destas energias renováveis para o balanço energético.

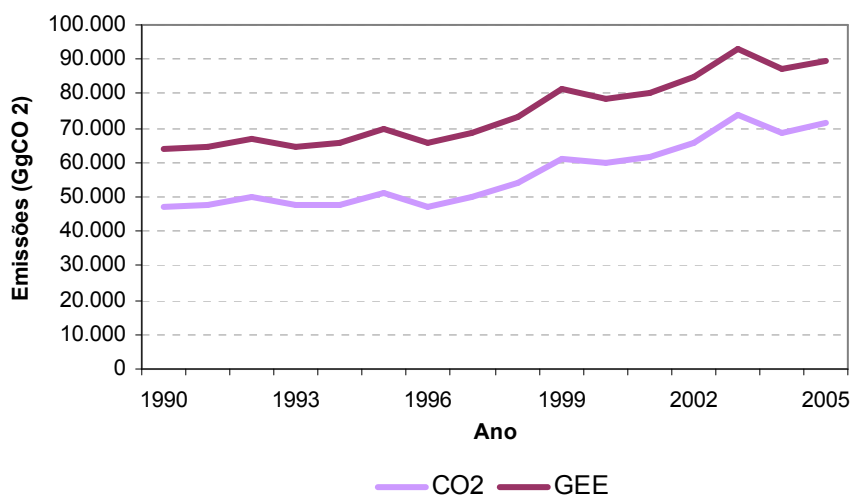


**Figura 12:** Evolução das energias renováveis para o balanço energético (DGGE, 2008).

## **Emissões de poluentes atmosféricos**

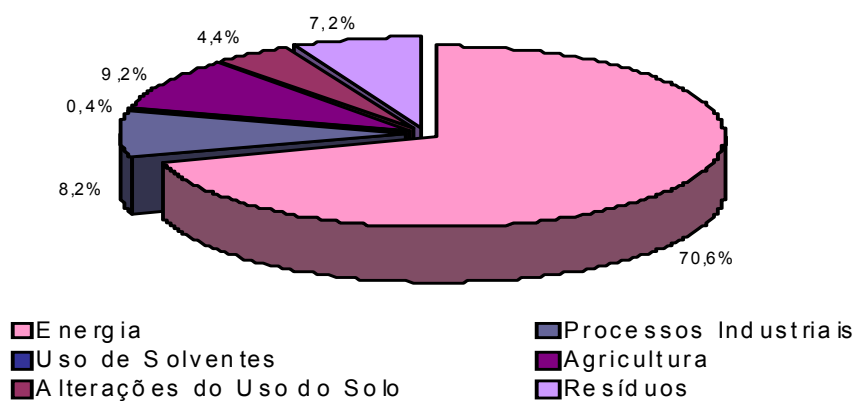
Todas as fontes de energia são potencialmente geradoras de impactes ambientais. Em todas as fases, da extracção de combustíveis à sua queima, passando pela transformação, transporte e distribuição, são produzidas pressões sobre o ambiente. Constituindo os combustíveis fósseis a fonte de energia primária mais utilizada em Portugal, os principais impactes ambientais resultam da poluição atmosférica, tanto ao nível local (deterioração da qualidade do ar) como da contribuição, embora pequena, para problemas ao nível global (efeito de estufa).

O nível de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Portugal passou de 63 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente em 1990 (ano tomado como referência pelo Protocolo de Quioto) para 89,5 em 2005, ou seja um acréscimo de 42%. Através da Figura 13 é possível confirmar a representatividade do CO<sub>2</sub> em relação ao total de GEE, que se situou entre os 71 e 80%, entre 1990 e 2005.



**Figura 13:** Emissões de CO<sub>2</sub> e GEE em Portugal no período de 1990 a 2005 (DGGE, 2008).

Este crescimento acelerado das emissões de GEE deve-se, sobretudo, ao aumento do consumo de energia e ao aumento do recurso ao carbono na produção de energia. Em 2005, este sector atingiu 70.6% do total das emissões (Figura 14), onde se destacam os transportes e as indústrias energéticas responsáveis por 32 e 39% das emissões registadas, respectivamente. A libertação de CO<sub>2</sub> pelo uso de fertilizantes na agricultura e pela proliferação de resíduos contribui igualmente para este aumento de GEE.



**Figura 14:** Emissões de GEE por sector, em Portugal, no ano de 2005 (DGGE).

## 2. FÍSICA E REGULAMENTAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Nas sociedades tradicionais a construção de edifícios era baseada nos recursos naturais existentes localmente, no clima e na mão-de-obra local. Assim, as habitações reflectiam, por um lado um profundo conhecimento das condições climáticas, por outro lado a performance dos materiais utilizados na construção. Também existia um claro conhecimento de como os processos de projecto de construção do edifício interagiam entre si, assim como com os utilizadores e o ambiente. Tradicionalmente, não era possível despende de enormes quantidades de energia. As habitações reflectiam esse facto e não era necessário a utilização massiva de energia de forma a proporcionar o conforto interior (Ngowi, 1997).

No entanto o desenvolvimento do sector dos edifícios levou à construção de edifícios que não eram projectados com características apropriadas ao clima exterior em que se inseriam, dependendo unicamente dos sistemas de aquecimento / arrefecimento para proporcionar o conforto térmico. Este facto, aliado a um aumento da qualidade de vida e exigência de conforto no interior das habitações, levou à utilização generalizada de equipamentos de aquecimento e arrefecimento e, conseqüentemente, a um aumento insustentável do consumo energético dos edifícios. Como tal, as estratégias utilizadas no sector da construção necessitam de uma profunda revisão, começando pelo projecto de arquitectura de edifícios que tirem proveito do meio ambiente, de forma a reduzirem as necessidades de aquecimento / arrefecimento, até à utilização de materiais com baixa energia incorporada.

O sector dos edifícios está entre os maiores consumidores energéticos e de matérias-primas. É estimado que, mundialmente, sejam emitidas 6 biliões de toneladas de dióxido de carbono devido à actividade humana. Aproximadamente 37,5% destas emissões são, de uma forma ou de outra, devido ao sector dos edifícios. Na Europa, este sector utiliza cerca de um terço de todas as matérias-primas e energia final, produzindo cerca de metade das emissões de dióxido sulfúrico, 27% das emissões de óxido nitroso, 10 % das emissões de partículas, os quais estão todos relacionados com as alterações climáticas, ou seja, são GEE. A distribuição da emissão de GEE é dividida em 2/3 por parte de edifícios residenciais e 1/3 por parte dos edifícios de serviços. Assim, os edifícios estão entre os grandes poluidores da actualidade. Com a construção de edifícios energeticamente mais eficientes seria possível reduzir em 60% as emissões de carbono, ou seja, em 1,35 biliões de toneladas (Tzikopoulos *et. al.*, 2005).

### 2.1. CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é reconhecido como sendo um conceito não exacto, que não implica uma temperatura e humidade exacta. O conforto térmico depende de factores quantificáveis – temperatura do ar, velocidade do ar, humidade, etc. e de factores subjectivos – estado mental, hábitos, educação, etc. Assim, as preferências de conforto das pessoas variam bastante consoante a sua adaptação particular ao ambiente local.

Com o intuito de obter um ambiente interior dos edifícios termicamente confortável para os seus ocupantes, as normas sobre conforto térmico são uma ferramenta essencial. Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem ter em conta os consumos energéticos necessários para atingir o conforto. Mas devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e à necessidade do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de o atingir com o menor consumo energético possível (Ramos, 1997).

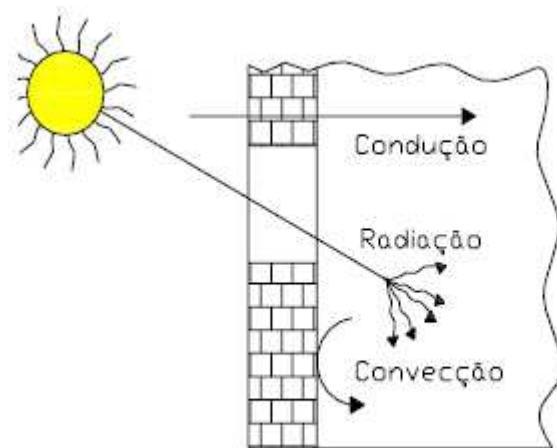
Por outro lado, o aumento da utilização de equipamentos para arrefecimento na Europa é preocupante, em termos ambientais, devido ao grande aumento do consumo energético, contribuindo para o excesso das emissões de CO<sub>2</sub> e o conseqüente aquecimento global. A climatização de espaços deverá ser reservada para as necessidades especiais de climas extremos, e não para melhorar os efeitos de um fraco design climático dos edifícios. A solução é um bom design climático, utilizando dados realísticos de conforto térmico (Da Silva, 2006).

### 2.1.1. Mecanismos de Transmissão de Calor em Edifícios

Os edifícios devem assegurar no seu interior um ambiente com condições mínimas de conforto, salubridade e habitabilidade. Para tal, filtram a passagem de luz, ar, ruído e energia através da sua envolvente, criando, entre os ambientes interior e exterior, uma barreira que possibilita a satisfação das condições referidas. Em todos estes processos, das naturezas mais diversas (luz, som, calor), a envolvente do edifício, ou seja, o conjunto de todos os elementos que separam o interior do exterior – paredes, coberturas, pavimentos, elementos de portas e janelas, etc. – desempenha um papel fundamental.

No caso do conforto térmico, a avaliação da quantidade de energia necessária à sua promoção exige um balanço energético suportado pela contabilização de todas as trocas de calor através da envolvente e uma interpretação correcta da forma como o edifício reage dinamicamente a estes fenómenos. De seguida, apresenta-se de uma forma muito resumida os principais mecanismos de transmissão do calor em edifícios e o papel das pontes térmicas nestes processos.

A transmissão do calor a partir da envolvente pode ocorrer segundo três mecanismos distintos: condução, convecção e radiação (Figura 15).



**Figura 15:** Mecanismos de transmissão de calor em edifícios (Valério, 2007).

#### Condução

Este mecanismo de transmissão de calor tem base na transferência de energia cinética a nível molecular em sólidos, líquidos ou gases. Nos líquidos e sólidos não condutores eléctricos, a condução térmica dá-se devido às oscilações longitudinais da estrutura. Em metais a condução é semelhante à condução eléctrica, ou seja, devido ao movimento de electrões livres; e nos gases é devido à colisão elástica das moléculas. A transmissão do calor entre dois pontos ocorre sempre que se estabelece um gradiente de temperatura entre eles, desenvolvendo-se o fluxo de calor na direcção das temperaturas decrescentes. Estas são leis básicas da termodinâmica que é fundamental ter presente. Nos edifícios, o processo de transmissão de calor mais significativo é a condução e depende da condutividade térmica dos materiais –  $\lambda$  [W/m.°C] e da espessura do elemento da envolvente –  $e$  [m], como se pode verificar na Lei de Fourier para a condução (Valério, 2007):

$$Q = -(\lambda \cdot A) \frac{dt}{de} \quad (2.1)$$



onde  $A$  é a Área do elemento ( $m^2$ ) e  $dt/de$  é o Gradiente de Temperatura ( $^{\circ}C/m$ ).

## Convecção

Este mecanismo de transmissão de calor tem base na transferência de energia por movimento dos fluidos, líquidos ou gasosos, e condução molecular. Assim, este mecanismo ocorre na transmissão de calor de um sólido para o ar adjacente, ou entre duas superfícies a diferentes temperaturas. A transmissão de calor por convecção aumenta na medida que aumenta a velocidade do fluxo do fluido. A convecção pode ser **Natural** – gerada internamente devido à não-homogeneidade da densidade por diferenças de temperatura – ou **Forçada** – quando o fluxo é produzido por fontes externas.

## Radiação

Este mecanismo de transmissão de calor tem base na transferência de energia por ondas electromagnéticas. Para ocorrer este tipo de transmissão de calor apenas é necessária a existência de duas superfícies a diferentes temperaturas, em que devido à vibração das moléculas superficiais é emitida energia radiante através do espaço até atingir uma superfície opaca, a qual absorve parte desta energia e reflecte a restante.

A inércia térmica de um edifício é função da sua massa útil dos seus elementos construtivos. Relativamente ao nível de trocas de calor através dos elementos da envolvente, em que estão em jogo os fenómenos de condução, convecção ar-sólido e radiação de onda longa, a regulamentação recorre a um parâmetro característico, que liga directamente as temperaturas do ar interior e exterior, designado por coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), e definido a partir das condutâncias associadas àqueles fenómenos através da relação (Valério, 2007):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \left( \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{h_i} \quad (2.2)$$

em que  $1/h_i$  é a Resistência Térmica Superficial interior ( $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$ ) e  $1/h_e$  é a Resistência Térmica Superficial exterior ( $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$ ).

Utilizando este coeficiente, o fluxo de calor através de um elemento escreve-se, simplesmente,

$$Q_{Cond} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i (T_i - T_e) \quad (2.3)$$

com:

- $U_i$  – Coeficiente de Transmissão Térmica ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ );
- $A_i$  – Área do Elemento ( $m^2$ );
- $T_i$  – Temperatura Interior ( $^{\circ}C$ );
- $T_e$  – Temperatura Exterior ( $^{\circ}C$ ).

Esta expressão é utilizável para contabilizar as trocas de calor em zonas correntes de elementos de construção, onde é possível admitir a unidireccionalidade do fluxo de calor - que nesta hipótese toma a direcção perpendicular ao elemento. No entanto, é fácil reconhecer que numa envolvente de um edifício existem inúmeras heterogeneidades, dos mais variados tipos - geometria, propriedades dos materiais -, que afectam a direcção do fluxo e promovem o seu desenvolvimento em mais do que uma direcção (3 dimensões, no caso mais geral). Essas heterogeneidades constituem as designadas pontes térmicas (Valério, 2007).

O balanço energético de um edifício tem de ser dividido em dois períodos – Verão e Inverno, pois o sentido dos fluxos de calor vai ser diferente em cada um destes períodos. Para o Verão, o parâmetro a calcular são as necessidades de arrefecimento ( $Q_{Nec\_Arref}$ ), enquanto que para o

Inverno são as necessidades de aquecimento ( $Q_{Nec\_Aquec}$ ). Assim o balanço energético (Figura 16) pode ser representado pelas seguintes equações (Da Silva, 2006):

Verão

$$Q_{Nec\_Arref} = Q_{Cond} + Q_{Vent} + Q_{GI} + Q_{Rad\_Sol} \quad (2.4)$$

Inverno

$$Q_{Nec\_Aquec} = Q_{Cond} + Q_{Vent} + Q_{GI} - Q_{Rad\_Sol} \quad (2.5)$$

com:

$Q_{vent}$  – Trocas de Calor devido à ventilação do espaço;

$Q_{rad\_Sol}$  – Ganhos Térmicos devido à radiação solar;

$Q_{GI}$  – Ganhos Térmicos devido aos equipamentos interiores.

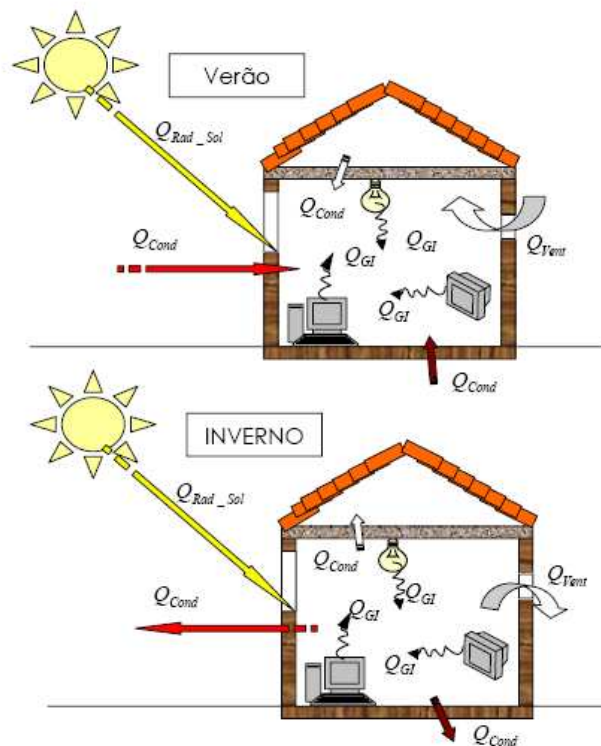


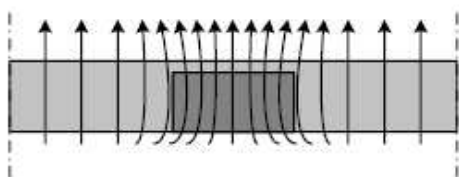
Figura 16: Balanço energético nos edifícios (Da Silva, 2006).

### 2.1.2. Conceito de Ponte Térmica

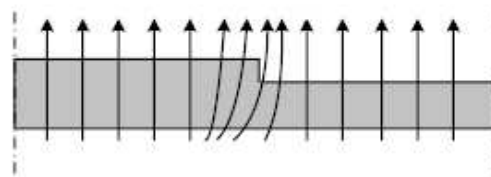
Ponte térmica é o termo vulgarmente utilizado para designar fenómenos localizados de transferência de calor na envolvente de um edifício, cuja consequência é uma redução das características de isolamento térmico desses locais relativamente à zona corrente. A ponte térmica é toda a parte da envolvente de um edifício onde não é possível admitir a hipótese de unidireccionalidade do fluxo de calor e, por conseguinte, deixa de ser válida a abordagem de cálculo convencionalmente usada em térmica de edifícios, que toma a resistência térmica dos

elementos uniforme na sua área (zona corrente). Em termos de fenómeno físico, nas zonas de pontes térmicas as linhas do fluxo de calor deixam de ser rectilíneas, aspecto característico de um processo unidireccional e tomam as direcções em que a resistência oferecida à passagem de calor é menor. Esta particularidade transforma a transmissão de calor nessas zonas num processo bidimensional ou mesmo tridimensional. Em termos práticos, as pontes térmicas têm como efeito um acréscimo das trocas de calor através da envolvente, relativamente a uma situação base que não contemple esse efeito, levando ao aumento dos consumos energéticos de um edifício e a uma distribuição heterogénea de temperaturas nos paramentos.

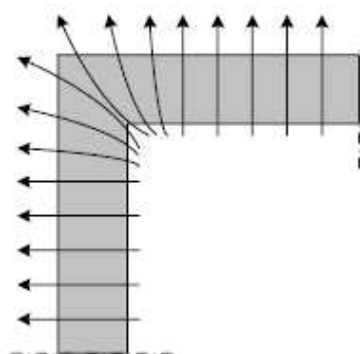
As pontes térmicas resultam sempre duma heterogeneidade, quer seja de ordem geométrica, quer seja de ordem estrutural. Os casos mais comuns são: transição entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas (Figura 17); alterações na espessura de um elemento (Figura 18); diferença entre áreas internas e externas, como é o caso que ocorre na ligação entre paredes (cunhais) (Figura 19), entre paredes e pavimentos e entre paredes e tectos (Figura 20) (Valério, 2007).



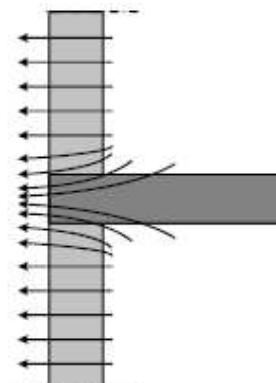
**Figura 17:** Ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais (pilar de betão) (Valério, 2007).



**Figura 18:** Ponte térmica devido a alterações de espessura (Valério, 2007).



**Figura 19:** Ponte térmica num cunhal (Valério, 2007).



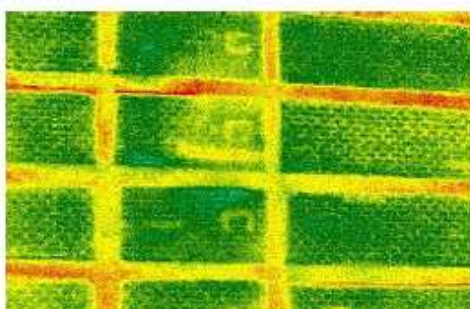
**Figura 20:** Ponte térmica devido à ligação da laje com a fachada (Valério, 2007).

Em todos estes casos o fluxo de calor segue a trajectória com menor “obstrução”, ou seja, procura o caminho em que a resistência térmica é menor. Sendo esta função da distância entre pontos e da condutibilidade térmica do material, tal significa que o fluxo de calor percorre o “caminho mais curto” que resulta da combinação destes dois parâmetros. Devido às pontes térmicas, o fluxo de calor pode ter uma componente lateral muito elevada, podendo atingir os 50%, reduzindo assim, de forma significativa, a resistência térmica da envolvente do edifício. As pontes térmicas, devido às maiores taxas de perdas de calor induzidas, acusam uma temperatura superficial mais baixa do que a da zona corrente, originando heterogeneidades na distribuição das temperaturas faciais (interiores) dos elementos, que potenciam o risco de condensações e o consequente aparecimento de patologias construtivas e funcionais.

Devido às quebras de isolamento produzidas, as pontes térmicas conduzem a gastos energéticos acrescidos, podendo ser responsáveis por uma parcela importante das perdas que ocorrem através da envolvente. Não é eficiente, nem inteligente, isolar termicamente as zonas

correntes dos elementos e depois descuidar as zonas das pontes térmicas. O fluxo de calor vai sempre percorrer o caminho mais “fácil”, e neste caso prefere atravessar as zonas das pontes térmicas, onde o isolamento é mais fraco, em vez de atravessar as zonas mais isoladas (Figura 21).

Outros problemas associados às pontes térmicas, além do aumento dos gastos energéticos, são as patologias construtivas e a redução dos níveis de conforto associados à ocorrência de fenómenos de condensação motivados pela diminuição da temperatura dos paramentos nas zonas de pontes térmicas. As humidades de condensação nos edifícios são muito problemáticas, originando gastos adicionais em manutenção, problemas de durabilidade dos materiais, redução do conforto e o aparecimento de fungos e bolores que podem levar à insalubridade do ar e do restante ambiente envolvente (Figura 22). A degradação dos edifícios devido à acção da humidade é o factor com maior peso na limitação da vida útil dos edifícios (Valério, 2007).

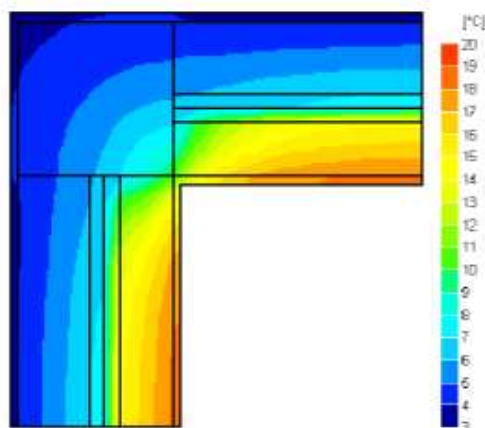


**Figura 21:** Termografia de uma fachada, onde são visíveis as zonas de pontes térmicas (Valério, 2007).

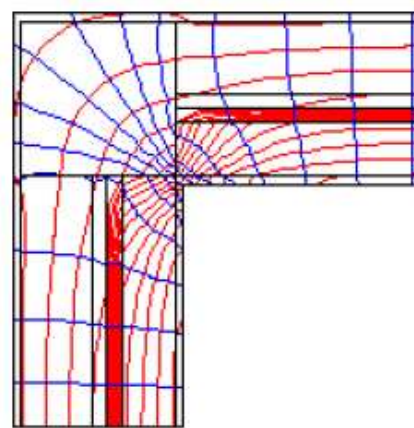


**Figura 22:** Aparecimento de bolores provocados por condensações na zona de ponte térmica da ombreira da janela e caixa de estore (Valério, 2007).

Como se pode observar na Figura 23 e Figura 24, a distribuição de temperaturas na zona de um pilar de canto (cunhal) de uma parede exterior, com isolamento térmico colocado no interior da caixa-de-ar, sofre uma perturbação em relação à zona corrente. Pode-se notar que as linhas de fluxo de calor deixam de ser paralelas entre si e perpendiculares à parede e a distribuição de temperatura deixa de ser homogénea, apresentando valores mais baixos junto ao canto, o que irá favorecer o aparecimento de condensações nessa zona.



**Figura 23:** Distribuição de temperatura numa zona de ponte térmica (pilar num cunhal), numa parede com isolamento na caixa-de-ar (Valério, 2007).



**Figura 24:** Linhas isotérmicas e linhas de fluxo de calor numa zona de ponte térmica (pilar num cunhal) (Valério, 2007).

## 2.2. REGULAMENTAÇÃO ENERGÉTICA

### 2.2.1. Enquadramento e Objectivos

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto.

Para fazer face a esta situação, os Estados-Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. É neste contexto que surge a Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Os objectivos da Directiva nº 2002/91/CE passam pelo enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios bem como dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação, certificação energética dos edifícios e a inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, a avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos. Destaque para a necessidade da implementação de um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos (para edifícios existentes) (ADENE, 2008).

### 2.2.2. Legislação Nacional

A Directiva nº 2002/91/CE foi transposta em 2006 para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei:

**I. O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), que tem por objectivos:**

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

**II. O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), que estabelece:**

- As condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente os requisitos em termos de conforto térmico, renovação, tratamento e qualidade do ar interior, que devem ser assegurados em condições de eficiência energética através da selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;
- Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para todo o edifício, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo

presente Regulamento, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;

- Os termos de concepção, da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização, para garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal, incluindo os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os principais intervenientes e a observância dos princípios da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na óptica da sustentabilidade ambiental;
- As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior.

**III. O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE),** que indica as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que:

- As exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

### **2.2.3. Âmbito de Aplicação**

Estão abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), cuja entrada em vigor foi definida Portaria 461 de 2007, os seguintes edifícios:

- Os novos edifícios, bem como os existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, ou seja uma intervenção na envolvente ou nas instalações, energéticas ou outras, do edifício, cujo custo seja superior a 25 % do valor do edifício, nas condições definidas no RCCTE, independentemente de estarem ou não sujeitos a licenciamento ou a autorização, e da entidade competente para o licenciamento ou autorização, se for o caso;
- Os edifícios de serviços existentes, sujeitos periodicamente a auditorias, conforme especificado no RSECE;
- Os edifícios existentes, para habitação e para serviços, aquando da celebração de contratos de venda e de locação, incluindo o arrendamento, casos em que o proprietário deve apresentar ao potencial comprador, locatário ou arrendatário o certificado emitido no âmbito do SCE.

Excluem-se do âmbito de aplicação do SCE as infra-estruturas militares e os imóveis afectos ao sistema de informações ou a forças de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e confidencialidade.



## 2.2.4. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

O primeiro RCCTE (Decreto-Lei nº 40/90), apresentava um conjunto de requisitos térmicos para os edifícios a construir ou a reabilitar em função da respectiva zona climática. Estes requisitos, considerados então moderadamente exigentes, permitiram uma adaptação gradual da nossa construção a estes requisitos, verificando-se nos finais dos anos 90 uma prática construtiva que na maioria dos casos ultrapassava os requisitos mínimos então instituídos. Passou a ser prática generalizada o uso de isolamento térmico na envolvente dos edifícios, algo que não se passava antes da entrada em vigor do referido regulamento.

O RCCTE de 1990 instituiu o princípio, que as exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios dependem das condições climáticas onde se localiza o edifício. Neste pressuposto dividiu a País em zonas climáticas e para cada zona estabeleceu determinados requisitos mínimos de qualidade da envolvente e valores de referência para cada zona.


Na revisão entretanto realizada e publicada (RCCTE, 2006), verificou-se quase uma duplicação dos requisitos exigidos, em termos dos valores dos coeficientes de transferência da envolvente ( $U$ ). Para além desta alteração de base, o procedimento de cálculo foi substancialmente modificado, tendo-se verificado mudanças ao nível da qualidade de cálculo (introdução de perdas térmicas lineares, pontes térmicas, caixilhos), bem como melhoramentos no cálculos dos ganhos solares e um novo algoritmo de cálculo ao nível da situação de Verão.

Foram introduzidos no procedimento de cálculo e de verificação regulamentar quatro condições (Gonçalves, 2007):

- I. Limitação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ );
- II. Limitação das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ );
- III. Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de água quente sanitária ( $N_{ac}$ );
- IV. Limitação das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício ( $N_{tc}$ )

As duas primeiras já eram conhecidas e utilizadas no anterior regulamento, e as duas outras são completamente novas, correspondendo de facto a duas grandes mudanças estruturais.

No primeiro caso, verifica-se a obrigatoriedade de utilização de Energia Solar para aquecimento de águas sanitárias (Artigo 7º), correspondendo a uma decisão política de incrementar a utilização de Energia Solar nos novos edifícios (ou grandes reabilitações) sempre que se verifiquem condições para tal e que tem implicações muito importantes ao nível do valor final da energia primária de cada edifício. E neste termo reside a outra novidade deste regulamento, o somatório das necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS, tem em conta o tipo de fonte energética (electricidade e combustíveis) e a eficiência dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e arrefecimento, sendo que por exemplo os sistemas de aquecimento eléctrico serão muito penalizadores para o edifício. Portanto o valor final em termos de contabilidade de energia primária será o termo  $N_{tc}$ , que integra os valores de  $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_{ac}$  tendo em consideração o tipo de energia e o sistema energético utilizado. Quanto menor for o valor de  $N_{tc}$ , melhor será o desempenho do edifício que será comparado com o valor de referência  $N_t$ . Aqui importa salientar que este termo é somente dependente da localização climática do edifício e da forma do edifício (factor de forma), sendo que edifícios com factor de forma elevados (maior área de envolvente exposta, para o mesmo volume edificado) serão penalizados. Finalmente, de referir que a relação entre  $N_{tc}/N_t$  deverá ser inferior a 1 para o edifício ser regulamentar, e que esta relação é a base de classificação do Certificado Energético do Edifício de acordo com a Figura 25 para os **novos edifícios**. Para os **edifícios existentes** as classes energéticas definidas serão de C a G (Gonçalves, 2007).



Classe energética	$R = N_{tc}/N_t$
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 < R \leq 0,50$
B	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	$0,75 < R \leq 1,00$
C	$1,00 < R \leq 1,50$
D	$1,50 < R \leq 2,00$
E	$2,00 < R \leq 2,50$
F	$2,50 < R \leq 3,00$
G	$3,00 < R$

Figura 25: Classes Energéticas dos Edifícios (ADENE, 2008).

### 2.2.5. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios

A primeira versão deste Regulamento, publicado em 1998 (Decreto Lei nº 118/98), estabeleceu um conjunto de requisitos para os edifícios com sistemas energéticos de aquecimento e ou arrefecimento, com potências superiores a 25 kW (Aquecimento ou Arrefecimento) ou 40 kW (Aquecimento + Arrefecimento). Assim, para os edifícios sujeitos a este regulamento, era imposta uma metodologia de verificação regulamentar como condição de licenciamento do mesmo pelos Municípios respectivos. O método consistia no cálculo das potências térmicas nominais de aquecimento e arrefecimento do edifício, de acordo com determinados parâmetros e tendo em atenção a zona climática, não podendo as potências dos equipamentos a instalar ser superior a 25% das potências nominais calculadas. A sua aplicação foi no entanto praticamente ignorada, quer pelos projectistas quer pelas entidades licenciadoras, carecendo de novos mecanismos de verificação.

A versão agora revista (2006), apresenta um novo procedimento de cálculo, no qual se adopta o conceito dos consumos energéticos no edifício em detrimento do conceito de potência prevalecente na versão de 1998. Assim, o objectivo focaliza-se na redução de consumos energéticos nos grandes edifícios existentes e na limitação de futuros consumos nas novas edificações. Este regulamento aplica-se a edifícios de serviços, com potências superiores a 25kW, impondo-se um limite aos consumos energéticos em função do tipo e dimensão do edifício, quer para edifícios existentes quer para o projecto de novos edifícios.

Os edifícios existentes com áreas superiores aos 1000m<sup>2</sup> (valor referido na Directiva Europeia) deverão, em função do seu tipo de actividades (Hotelaria, Escritórios, Hospitais, Comerciais etc.), não ultrapassar determinado valor de consumo energético (valor de IEE - Índice de Eficiência Energética) pré - estabelecido. Este valor deverá ser comprovado mediante auditoria energética a realizar de 2, 3 e 6, anos dependendo do tipo de edifício. A verificarem-se consumos superiores aos valores pré - estabelecidos no sector, esse edifício deverá implementar um conjunto de medidas de racionalização de consumos, que o coloquem dentro do limite estabelecido.

No caso de projecto de novos edifícios de serviços dever-se-á fazer prova dos consumos previsíveis utilizando metodologia de cálculo de simulação. Trata-se pois de uma mudança de procedimentos de cálculo muito importante e que requer um esforço da parte de todos os envolvidos (promotores, projectistas) no sentido de adaptação a estes novos procedimentos (Gonçalves, 2007).



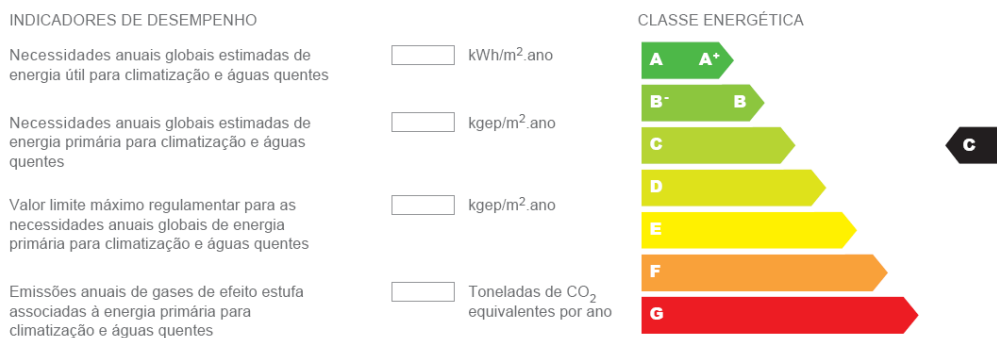
## 2.2.6. A Certificação Energética de Edifícios

Os objectivos principais do Sistema de Certificação são:

- Assegurar que todos os novos edifícios e sistemas de climatização, bem como as grandes reabilitações cumpram as disposições regulamentares de eficiência energética e de qualidade do ar de acordo com o RCCTE e RSECE;
- Assegurar que os edifícios de serviços tenham uma qualidade satisfatória do ar interior;
- Limitar os consumos energéticos nos grandes edifícios de serviços;
- Identificar medidas de melhoria do desempenho aplicáveis ao edifício nos seus sistemas energéticos.

A Certificação Energética de Edifícios vai incidir em todos os edifícios novos em fase de construção e nos de edifícios existentes, de acordo com o RCCTE e RSECE. Aos novos edifícios desde logo na fase de licenciamento (com a Declaração de Conformidade Regulamentar), até à emissão do Certificado. Nos existentes, no caso dos grandes edifícios periodicamente dependendo do tipo de edifício, nos pequenos sempre que se verifique uma venda ou aluguer. No caso dos edifícios de serviços existentes (grandes), pretende-se determinar qual o seu nível de consumo energético, por intermédio de inspecções. Estas consistem em auditorias energéticas e da qualidade do ar interior, adequadas ao tipo de edifícios, pelo que o Sistema de Certificação se denomina de “Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior nos Edifícios” (SCE). Pretende-se assim, por um lado dotar os novos edifícios de sistemas mais eficientes e que garantam a qualidade do ar interior, e de por outro lado limitar ou mesmo diminuir consumos energéticos nos grandes edifícios de serviços.

A ADENE é a instituição responsável pela gestão do SCE sendo a DGEG e APA as entidades supervisoras. Em termos práticos, o SCE vai exigir que todos os edifícios (novos e existentes) tenham um Certificado Energético a que corresponderá uma Classe Energética de acordo com a etiqueta de Desempenho Energético, definida com 9 classes, de A<sup>+</sup> a G (Figura 26) (Gonçalves, 2007).



**Figura 26:** Etiqueta de desempenho energético (ADENE, 2008).

O responsável pela emissão destes Certificados Energéticos é o denominado “Perito Qualificado”. Este profissional reconhecido pelo SCE, depois de efectuar um curso de formação, intervém a vários níveis, quer se trate do RCCTE, RSECE energia e RSECE qualidade do ar, sendo a sua intervenção repartida ao longo do tempo, desde a fase do licenciamento da obra (Declaração de Conformidade Regulamentar) até à utilização do edifício (Emissão do Certificado). Estes profissionais deverão ter uma formação de base em engenharia ou arquitectura, de acordo com protocolo definido com as Associações Profissionais (AO, OE, ANET).

A calendarização do SCE é a seguinte (Gonçalves, 2007):

- I. A 1 de Julho de 2007 iniciou-se a aplicação do SCE a novos edifícios (grandes, com mais de 1000m<sup>2</sup>);
- II. A 1 de Julho de 2008, dar-se-á início da aplicação do SCE a edifícios novos com menos de 1000m<sup>2</sup>;
- III. A 1 de Janeiro de 2009, o SCE aplicar-se-á a todos os edifícios (novos e existentes). Apresenta-se um Certificado Tipo como exemplo.

[illegible]

**Figura 27:** Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior (ADENE, 2008).



P E R D A S	Transmissão	ENVOLVENTE EXTERIOR paredes, pavimentos, coberturas, pontes térmicas planas e vãos envidraçados
	Ventilação	NATURAL ou MECÂNICA
G A N H O S	Internos	OCUPANTES EQUIPAMENTOS ILUMINAÇÃO
	Solares	VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES
		ELEMENTOS OPACOS EXTERIORES

**Figura 29:** Necessidades de Arrefecimento – balanços energéticos (Camelo *et. al.*, 2006).

### 3.1.1. Necessidades Nominais de Aquecimento

As necessidades nominais de aquecimento de uma fracção autónoma (**Nic**) são calculadas para a duração convencional da estação de aquecimento da localidade em que se situa o edifício e correspondem à energia útil que é necessário fornecer para que no interior seja mantida uma temperatura constante de 20°C. O método utilizado baseia-se na seguinte expressão (kWh/m<sup>2</sup>.ano):

$$Nic = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \quad (3.1)$$

em que as variáveis no 2ª membro representam:

- Q<sub>t</sub>** - perdas de calor por condução através da envolvente do edifício;
- Q<sub>v</sub>** - perdas de calor resultantes da renovação de ar;
- Q<sub>gu</sub>** - ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados;
- A<sub>p</sub>** - área útil de pavimento do edifício/fracção autónoma.

#### PERDAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE (Q<sub>t</sub>)

As perdas de calor por condução através da envolvente, **Q<sub>t</sub>**, obtêm-se pelo somatório das perdas parcelares descritas nas Tabelas 1 e 2.

#### PERDAS DE CALOR POR RENOVAÇÃO DE AR (Q<sub>v</sub>)

As perdas de calor por renovação de ar obtêm-se pela expressão descrita na Tabela 3.

**Tabela 1:** Necessidades nominais de aquecimento. Perdas parcelares de calor por condução através das envolventes exterior e interior – síntese das equações (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Envolvente em contacto com o exterior $Q_{ext}$ [kWh]	$Q_{ext} = 0,024 \cdot \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot GD$ (3.2)	$U_j$ – coeficiente de transmissão térmica do elemento $j$ da envolvente (opaco ou envidraçado), [W/m <sup>2</sup> ·°C];	RCCTE, Anexo VII, parágrafo 1 e publicações LNEC
Envolvente em contacto com locais não-aquecidos $Q_{lna}$ [kWh]	$Q_{lna} = 0,024 \cdot \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot GD \cdot \tau$ (3.3)	$A_j$ – área (medida pelo interior) do elemento $j$ da envolvente, [m <sup>2</sup> ];  GD – número de graus-dias [°C.dias] da localidade em que o edifício se situa  $\tau$ – Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos;	Caso de Estudo  RCCTE, Anexo III  RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.1

**Tabela 2:** Necessidades nominais de aquecimento. Perdas parcelares de calor por condução através da envolvente em contacto com o solo e das pontes térmicas lineares – síntese das equações (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Pavimentos e paredes em contacto com o terreno $Q_{pe}$ [kWh]	$Q_{pe} = 0,024 \cdot \sum_{j=1}^n \psi_j \cdot B_j \cdot GD$ (3.4)	$\Psi_j$ – coeficiente de transmissão térmica linear do elemento $j$ em contacto com o terreno ou da ponte térmica linear $j$ , [W/m·°C]; $B_j$ – desenvolvimento linear	RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.2.1, Tabela IV.2.2
Pontes térmicas lineares $Q_{pt}$ [kWh]	$Q_{pt} = 0,024 \cdot \sum_{j=1}^n \psi_j \cdot B_j \cdot GD$ (3.5)	(medido pelo interior) do elemento $j$ em contacto com o terreno, ou da ponte térmica linear $j$ , [m];  GD – número de graus-dias [°C.dias] da localidade em que o edifício se situa.	Caso de Estudo  RCCTE, Anexo III

**Tabela 3:** Necessidades nominais de aquecimento. Perdas de calor por renovação de ar,  $Q_v$  – síntese das equações (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Renovação do ar $Q_v$ [kWh]	$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \cdot (1 - \eta_v)$ <p>(3.6)</p>	$R_{ph}$ – nº de renovações horárias do ar interior [ $h^{-1}$ ];	RCCTE, Anexo IV: 3.2.1-ventilação natural
		$A_p$ – área útil de pavimento [ $m^2$ ];	3.2.2-ventilação mecânica
		$P_d$ – pé direito, [m];	Caso de Estudo
	Adicionar, se houver ventiladores mecânicos:	GD – número de graus-dias [ $^{\circ}C \cdot dias$ ] da localidade em que o edifício se situa;	RCCTE, Anexo III
		$\eta_v$ – rendimento do eventual sistema de recuperação de calor ( $\eta_v=0$ , caso não haja recuperador);	Especificação do fabricante do equipamento
		$E_v$ – valor médio mensal da energia eléctrica consumida pelo eventual sistema mecânico de ventilação [kWh];	
	$E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot M$ <p>(3.7)</p>	$P_v$ – somatório das potências eléctricas dos ventiladores instalados [W];	Placas de características dos equipamentos instalados
		$M$ – duração convencional da estação de aquecimento [meses].	RCCTE, Anexo III

#### GANHOS ÚTEIS DE CALOR ( $Q_{gu}$ )

Os ganhos térmicos úteis,  $Q_{gu}$ , resultam do aproveitamento de parte do ganhos solares brutos através dos envidraçados,  $Q_s$ , e dos ganhos internos brutos,  $Q_i$ , resultantes da iluminação, utilização de equipamentos e presença dos ocupantes.

Os ganhos térmicos totais brutos,  $Q_g$ , obtêm-se pelo somatório dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados (Tabela 4) e dos ganhos internos brutos (Tabela 5):

**Tabela 4:** Necessidades nominais de aquecimento. Ganhos solares brutos,  $Q_s$  – síntese das equações (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados $Q_s$  [kWh]	$Q_s = G_{sul} \cdot \sum_{j=1}^n \left[ X_j \cdot \sum_k^n A_{snj} \right] \cdot M$ (3.8)	$G_{sul}$ – energia solar média mensal incidente durante a estação de aquecimento numa superfície vertical de área unitária orientada a Sul, [kWh/m <sup>2</sup> .mês];	RCCTE, Anexo III, Quadro III.8
	$G_{sul} = \sum_{j=1}^n \left[ X_j \cdot \sum_k^n \left( A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \right)_{nj} \right] \cdot M$ (3.9)	$X_j$ – factor de orientação para as diversas exposições $j$ ;	RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.4
	<b>NOTAS COMPLEMENTARES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>No cálculo do factor solar de vãos envidraçados do sector residencial, salvo justificação em contrário, deve ser considerada a existência, pelo menos, de cortinas interiores muito transparentes de cor clara (<math>g_{\perp}=0,70</math> para vidro simples incolor e <math>g_{\perp}=0,63</math> para vidro duplo incolor);</li> </ul>	$A_{snj}$ – área efectiva do vão $n$ segundo a orientação $j$ , [m <sup>2</sup> ];  $A$ – área total da janela (vidro mais caixilho), [m <sup>2</sup> ];	Caso de Estudo
		<u>Factores de sombreamento:</u> $F_h$ – pelo horizonte;	RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.5
	<ul style="list-style-type: none"> <li>O valor mínimo a adoptar para o produto <math>X_j \cdot (F_h \cdot F_o \cdot F_f)_{nj}</math> é 0,27, que corresponde à fracção média de radiação difusa;</li> </ul>	$F_o$ – por elementos horizontais (palas, varandas);	RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.6
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caso não existam palas, para contabilizar o efeito de sombreamento do contorno do vão deve ser considerado o valor 0,9 para o produto <math>F_o \cdot F_f</math>;</li> </ul>	$F_f$ – por elementos verticais (palas verticais, próprio edifício ou outros corpos);	RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.7
		$F_g$ – devido ao caixilho;	RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.5
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Em determinadas circunstâncias pode ser adoptado um método de cálculo simplificado dos ganhos solares (RCCTE, Anexo IV, capítulo 4.3.1.2)</li> </ul>	$F_w$ – devido à selectividade angular dos envidraçados, o qual toma o valor <b>0,9</b> por defeito;	Especificação do fabricante
		$g_{\perp}$ – factor solar do conjunto vidro e protecção;	RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.4

**Tabela 5:** Necessidades nominais de aquecimento. Ganhos internos brutos,  $Q_i$  – síntese das equações (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Ganhos internos brutos (iluminação, equipamento, ocupantes) $Q_i$ [kWh]	$Q_i = q_i \cdot M \cdot A_p \cdot 0,720$ (3.10)	$q_i$ – ganhos térmicos internos médios por unidade de área de pavimento útil [ $W/m^2$ ];  $M$ – duração média da estação convencional de aquecimento, em meses;  $A_p$ – área útil de pavimento [ $m^2$ ].	RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.3  RCCTE, Anexo III  Caso de Estudo

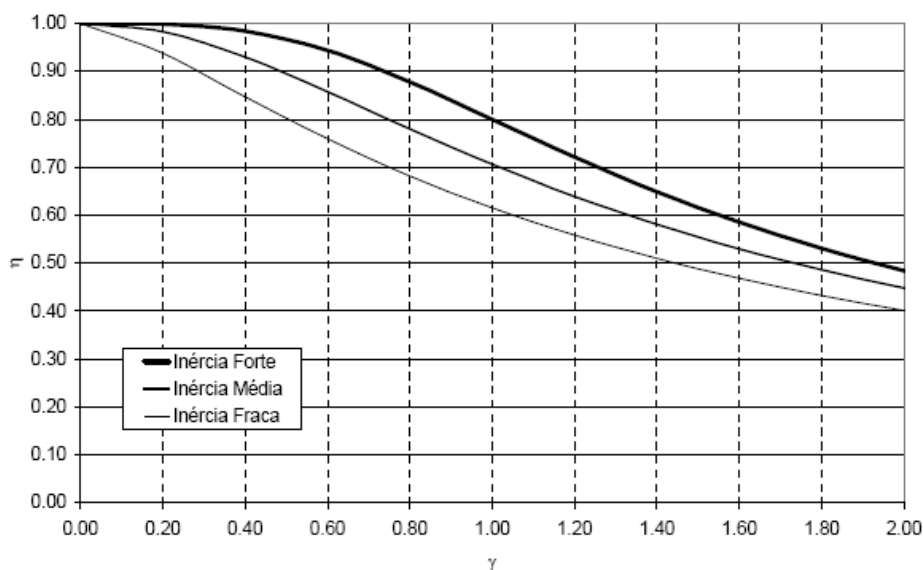
Os ganhos internos são considerados constantes durante todas as horas de funcionamento do edifício. Por exemplo, num edifício residencial, admite-se que durante toda a estação de aquecimento (com a duração de  $M$  meses) o valor de  $q_i$  é, em média igual a  $4 W/m^2$  durante 24 horas por dia.

Uma vez calculada a relação

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v} \quad (3.11)$$

entre os ganhos térmicos totais brutos  $Q_g = Q_s + Q_i$  e as perdas térmicas totais  $Q_t + Q_v$  determinam-se os ganhos térmicos úteis,  $Q_{gu}$ , a partir do conhecimento prévio do *factor de utilização dos ganhos térmicos*,  $\eta$  (RCCTE, Anexo IV). O factor  $\eta$  calcula-se pelas expressões seguintes, representadas graficamente na Figura 30:

$$\begin{cases} \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} & \text{se } \gamma \neq 1 \\ \eta = \frac{a}{a+1} & \text{se } \gamma = 1 \end{cases} \quad a = \begin{cases} 1,8 & \text{edifícios com inércia térmica fraca} \\ 2,6 & \text{edifícios com inércia térmica média} \\ 4,2 & \text{edifícios com inércia térmica forte} \end{cases}$$



**Figura 30:** Factor de utilização dos ganhos térmicos,  $\eta$ , em função do parâmetro  $\gamma$  e da classe de inércia térmica interior (Camelo *et. al.*, 2006).



Finalmente, os ganhos térmicos úteis obtêm-se pelo produto

$$Q_{gu} = \eta \cdot Q_g \quad (3.12)$$

pelo que as necessidades nominais de aquecimento poderão assim ser expressas:

$$N_{ic} = \left( \frac{Q_t + Q_v - \eta \cdot Q_g}{A_p} \right) \quad [kWh / m^2 \cdot ano] \quad (3.13)$$

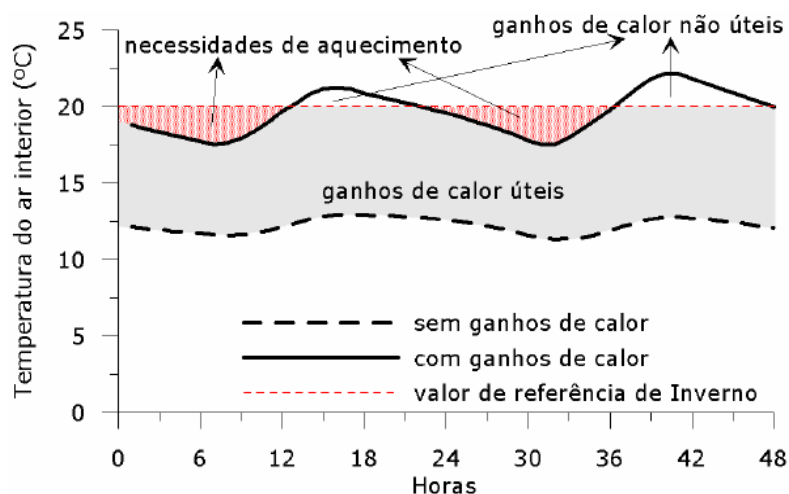
### 3.1.2. Necessidades Nominais de Arrefecimento

As necessidades nominais de arrefecimento de uma fracção autónoma ( $N_{vc}$ ) são calculadas para os quatro meses de Verão – Junho a Setembro (122 dias), definidos pelo RCCTE como a estação convencional de arrefecimento – e correspondem à energia útil que seria necessário retirar para que no interior não seja excedida a temperatura de 25°C. O método utilizado baseia-se na seguinte expressão:

$$N_{vc} = Q_g \cdot \left( \frac{1 - \eta}{A_p} \right) \quad [kWh / m^2 \cdot ano] \quad (3.14)$$

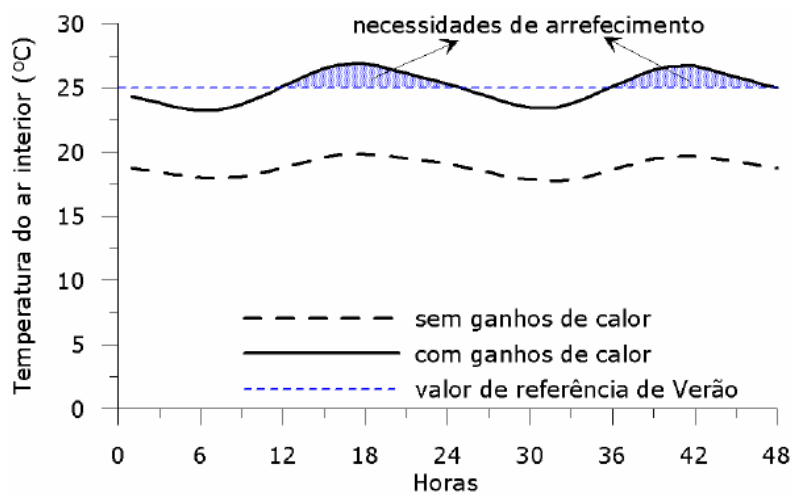
em que  $(1 - \eta)$  é o factor de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento,  $A_p$  a área útil de pavimento da fracção autónoma e  $Q_g$  o balanço entre os ganhos e as perdas térmicas do edifício. A metodologia adoptada é similar à utilizada na determinação das necessidades de aquecimento.

O comportamento térmico de um edifício, em regime de temperatura flutuante, resulta das trocas de calor com o exterior, arrefecendo quando no exterior está mais frio, e aquecendo sempre que haja ganhos solares (e outros). Durante a estação fria (Inverno), o objectivo é que o edifício atinja uma determinada temperatura de referência, 20°C no RCCTE, sendo necessário fornecer energia auxiliar sempre que tal objectivo não seja atingido. Quando a temperatura interior sobe acima do valor de referência, devido ao excesso de ganhos internos (e solares), estes ganhos térmicos dão origem a um sobreaquecimento sendo pois indesejáveis ou inúteis (ganhos não úteis) (Figura 31). O parâmetro  $\eta$  representa, assim, a fracção dos ganhos que é útil para o objectivo enunciado (atingir a temperatura de referência, sem a ultrapassar).



**Figura 31:** Evolução da temperatura interior com e sem ganhos de calor e necessidades de aquecimento (Camelo *et. al.*, 2006).

Pelo contrário, na estação de arrefecimento, o objectivo é que o edifício não aqueça acima de uma outra temperatura de referência, 25°C no RCCTE. Se a temperatura se mantiver abaixo desse valor não será necessário arrefecer artificialmente o edifício com ar-condicionado. Portanto, sempre que os ganhos internos e solares forem tais que contribuam para o sobreaquecimento do edifício acima da referida temperatura de referência, esses são precisamente os ganhos excessivos que o sistema de ar-condicionado tem de retirar, ou seja, os ganhos em excesso são as necessidades de arrefecimento (Figura 32). Ora, pelo mesmo princípio referido anteriormente, essa fracção de ganhos excessivos é, precisamente,  $(1-\eta)$ . Uma vez que este parâmetro, no Verão, é calculado com base em ganhos e perdas referidas a condições interiores distintas das utilizadas para a estação de aquecimento, ele diferenciar-se-á na nomenclatura através do recurso à designação  $\eta_{\text{arref}}$ .



**Figura 32:** Evolução da temperatura interior com e sem ganhos de calor e necessidades de arrefecimento (Camelo *et. al.*, 2006).

O cálculo do factor de utilização  $\eta_{\text{arref}} = 1-\eta$ , é feito através da Figura 30 ou das correspondentes equações, tendo em atenção que  $\eta_{\text{arref}}$  é obtido a partir da razão (  $\gamma$  ) entre os ganhos térmicos totais brutos  $Q_g$  e as perdas térmicas, que dizem respeito às perdas associadas aos elementos da envolvente exterior (Tabela 6) e por renovação de ar (Tabela 7). Esta situação deve-se ao facto de a temperatura média exterior, durante toda a estação de arrefecimento, e para todas as regiões climáticas em Portugal, ser sempre inferior à temperatura interior de referência (25 °C).

Os ganhos internos brutos resultam do somatório:

$$Q_g = Q_i + Q_s + Q_{\text{opaco}} \quad (3.15)$$

em que:

$Q_i$  – ganhos internos (Tabela 8);

$Q_s$  – ganhos solares através dos vãos envidraçados (Tabela 9);

$Q_{\text{opaco}}$  - ganhos solares através da envolvente opaca (Tabela 10).

Nas Tabelas 6 a 10 encontram-se sintetizadas as equações utilizadas para descrever os fenómenos em jogo.

**Tabela 6:** Perdas associadas aos elementos da Envolvente Exterior (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Envolvente em contacto com o exterior $Q_{ext}$ [kWh]	$Q_{ext} = 2,928 \cdot \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot (\theta_i - \theta_{atm})$ (3.16)	$U_j$ – coeficiente de transmissão térmica do elemento $j$ da envolvente (opaco ou envidraçado), [W/m <sup>2</sup> ·°C];	RCCTE, Anexo VII, ponto 1
		$A_j$ – área (medida pelo interior) do elemento $j$ da envolvente, [m <sup>2</sup> ];	Caso de Estudo
		$\theta_i$ – temperatura interior de referência de Verão – 25 °C;  $\theta_{atm}$ – temperatura média do ar exterior (°C).	RCCTE, Anexo III

**Tabela 7:** Perdas por Renovação de Ar (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Renovação do ar $Q_v$ [kWh]	$Q_{ext} = 2,928 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot (\theta_i - \theta_{atm})$ (3.17)	$R_{ph}$ – renovações horárias do ar interior, (h-1);	RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.1
		$A_p$ – área útil de pavimento (m <sup>2</sup> );	Caso de Estudo
		$P_d$ – pé direito, (m);	
	<p>Se houver meios mecânicos de insuflação ou extracção de ar, a equação acima passa a ter mais um termo:</p>	$\theta_i$ – temperatura interior de referência de Verão – 25 °C;	RCCTE, Anexo III
	$Q_v = 2,928 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot (\theta_i - \theta_{atm}) + P_v \cdot 24 \cdot 0,03M$	$\theta_{atm}$ – temperatura média do ar exterior (°C);	
	$Q_v = 2,928 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot (\theta_i - \theta_{atm}) + P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot 4$ (3.18)	$P_v$ – soma das potências eléctricas dos ventiladores;	Placas das características dos ventiladores instalados
		$M$ – duração da estação de arrefecimento igual a 4 meses	RCCTE Quadro III.9

Para a estação de arrefecimento, os ganhos totais são obtidos pelo somatório dos ganhos internos (Tabela 8) e dos ganhos solares através dos vãos envidraçados (Tabela 9) e da

envolvente exterior opaca (Tabela 10). A metodologia de cálculo para os ganhos internos é igual à utilizada para a estação de aquecimento.

**Tabela 8:** Ganhos internos (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Ganhos internos $Q_i$  [kWh]	$Q_i = 2,928 \cdot q_i \cdot A_p$  (3.19)	$Q_i$ – ganhos térmicos internos médios por unidade de área de pavimento útil ( $W/m^2$ );  $A_p$ – área útil de pavimento ( $m^2$ ).	RCCTE, Quadro IV.3  Caso de Estudo

**Tabela 9:** Ganhos solares através dos vãos envidraçados (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Radiação solar através dos vãos envidraçados $Q_s$  [kWh]	$Q_s = \sum_j^n \left[ I_{r_j} \cdot \sum_k A_{snj} \right] =$ $= \sum_j^n \left[ I_{r_j} \cdot \sum_k^n \left( A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \right)_{kj} \right]$ (3.20)	$I_{r_j}$ – energia solar incidente por orientação $j$ , ( $kWh/m^2$ ); $A_{snj}$ – área efectiva do vão $n$ segundo $j$ , ( $m^2$ ); $A$ – área total da janela (vidro mais caixilho), ( $m^2$ ); $F_w$ – factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados; $g_{\perp}$ – factor solar do conjunto vidro e dispositivo de protecção solar; <u>Factores de sombreamento:</u> $F_h$ – horizonte (igual a 1 no Verão); $F_o$ – elementos horizontais (palas, varandas); $F_f$ – elementos verticais (pala verticais, próprio edifício ou outros corpos); $F_g$ – devido ao caixilho.	RCCTE – Quadro III.8  Caso de Estudo  RCCTE Quadro V.3  RCCTE Quadro V.4  RCCTE Quadro V.1  RCCTE Quadro V.2  RCCTE Quadro IV.5

**Tabela 10:** Ganhos internos através da envolvente opaca (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Perda	Equação	Terminologia	Referência
Envolvente opaca $Q_{opaco}$ [kWh]	$Q_{opaco} = 2,928 \cdot \left( \sum_j^n U_j \cdot A_j \right) \cdot (\theta_{atm} - \theta_i) + \sum_j^n U_j \cdot A_j \cdot \left( \frac{\alpha_j \cdot I_r}{h_e} \right)$	$U_j$ – coeficiente de transmissão térmica do elemento j da envolvente opaca, (W/m <sup>2</sup> °C);	RCCTE, Anexo VII
		$A_j$ – área do elemento j da envolvente, (m <sup>2</sup> );	Caso de Estudo
	(3.21)	$\theta_{atm}$ – temperatura média do ar exterior (°C);	RCCTE, Quadro III.9
	<p>Nota:</p> <p>Uma vez os valores médios da temperatura do ar exterior <math>\theta_{atm}</math> são sempre inferiores a 25 °C para todas as zonas climáticas de Verão (RCCTE, Anexo III – Quadro III.9), a 1ª parcela da equação, de acordo com a metodologia adoptada, será sempre nula em Portugal, donde:</p>	$\theta_i$ – temperatura interior referência, Verão – 25 °C;	
		$\alpha_j$ – coeficiente de absorção solar da superfície exterior do elemento da envolvente j;	RCCTE, Quadro V.5
		$I_r$ – energia solar incidente por orientação j, (kWh/m <sup>2</sup> );	RCCTE, Quadro III.9
	$Q_{opaco} = \sum_j^n U_j \cdot A_j \cdot \left( \frac{\alpha_j \cdot I_r}{h_e} \right)$	$h_e$ – condutância térmica superficial exterior do elemento j, (W/m <sup>2</sup> °C).	RCCTE, Anexo VII, Quadro VII.1
	(3.22)		

A metodologia adoptada para o cálculo das necessidades de arrefecimento é pois complementar à utilizada para a estação de aquecimento.

### 3.1.3. Necessidades de Águas Quentes Sanitárias

O RCCTE exige a avaliação das necessidades anuais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ), e prevê também a obrigatoriedade de utilização de colectores solares para aquecimento de águas sanitárias, sempre que haja exposição solar adequada. Prevê também a possibilidade de utilização de outras formas de energia renováveis que sejam captadas no edifício para esse ou outros fins.

$$N_{ac} = \left( \frac{Q_a}{\eta_a - E_{solar} - E_{ren}} \right) / A_p \quad (3.23)$$

O termo  $E_{solar}$  representa a contribuição de colectores solares, enquanto a parcela  $E_{ren}$  traduz a contribuição de outras formas de energia renovável.  $E_{solar}$  só pode ser contabilizada se os colectores forem certificados e instalados por instaladores acreditados pela DGGE e, se houver garantia de manutenção do sistema durante seis anos. O cálculo de  $E_{solar}$  deve ser feito utilizando o programa SOLTERM. O cálculo de  $E_{ren}$  deverá ser devidamente justificado pelo responsável pela demonstração das exigências regulamentares (RCCTE). O primeiro termo,  $Q_a$ , diz respeito à produção de águas quentes com sistemas convencionais, é a energia útil dispendida com sistemas convencionais, e  $\eta_a$  a respectiva eficiência de conversão a partir da fonte primária de energia, sendo este valor fornecido pelo fabricante com base em ensaios normalizados. Em alternativa, podem utilizar-se valores convencionais tabelados, normalmente penalizadores relativamente aos valores nominais dos equipamentos disponíveis no mercado, pois estão

nivelados pelo pior equipamento de cada tipo disponível no mercado, variando entre 0,95 para o termoacumulador eléctrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico e 0,50 para o simples esquentador a corrente a gás (Tabela 11).

**Tabela 11:** Eficiência de conversão para os sistemas convencionais de produção de águas quentes – valores por defeito.

Sistemas Convencionais de Produção de Águas Quentes Sanitárias		Eficiência de Conversão
Termoacumulador eléctrico	Com pelo menos 100mm de isolamento térmico	0,95
	Com 50 a 100mm de isolamento térmico	0,90
	Com menos de 50mm de isolamento térmico	0,80
Termoacumulador a Gás	Com pelo menos 100mm de isolamento térmico	0,80
	Com 50 a 100mm de isolamento térmico	0,75
	Com menos de 50mm de isolamento térmico	0,70
Caldeira Mural com Acumulação	Com pelo menos 100mm de isolamento térmico	0,87
	Com 50 a 100mm de isolamento térmico	0,82
	Com menos de 50mm de isolamento térmico	0,65
Esquentador a Gás		0,50

Na Tabela 12 faz-se uma síntese dos pressupostos admitidos para o cálculo da energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de águas quentes sanitárias.

**Tabela 12:** Necessidades nominais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias (Adaptado de Camelo *et. al.*, 2006).

Preparação de AQS	Equação	Terminologia	Referência
Sistemas Convencionais [kWh/ano]	$Q_a = \frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000}$ <p>(3.24)</p>	$M_{AQS}$ – consumo médio diário de referência:  - <u>Residencial</u> $M_{AQS} = 40l \cdot N_{ocup}$  - <u>Serviços</u> $M_{AQS} = 100l$	RCCTE, Quadro VI.1
		$\Delta T$ – diferença de temperatura de referência (60 °C -15 °C)  $N_{ocup}$ – número de ocupantes em função da tipologia: T0 e T1 → 2 ocupantes T2 → 3 ocupantes T3 → 4 ocupantes TN → N+1 ocupantes	
		$n_d$ – número anual de dias de consumo residencial: 365	
		Serviços com utilização: -Permanente: 365 -6 dias/semana: 313 -5,5 dias/semana: 287 -5 dias/semana: 261	RCCTE, Quadro VI.2

### 3.1.4. Necessidades Globais de Energia Primária

As necessidades energéticas determinadas pela metodologia de cálculo do RCCTE, para aquecimento (N<sub>ic</sub>), arrefecimento (N<sub>vc</sub>) e águas quentes sanitárias (N<sub>ac</sub>) são convertidas em energia primária em função das formas de energia final utilizadas para cada uma das funções, com base na expressão seguinte:

$$N_{tc} = 0,1 \cdot \left( \frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) F_{pui} + 0,1 \cdot \left( \frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) F_{puv} + N_{ac} \cdot F_{pua} \quad [kgep / m^2 \cdot ano] \quad (3.25)$$

em que  $F_{pui}$ ,  $F_{puv}$  e  $F_{pua}$  são os factores de conversão entre energia útil e energia primária relativos ao aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias, respectivamente. Estes factores são definidos periodicamente por despacho do Director Geral de Geologia e Energia, em função do mix energético nacional na produção de electricidade – distribuição percentual das fontes de energia primária na produção de energia eléctrica da rede nacional, variável anualmente em função da hidraulicidade. Os valores em vigor ao iniciar-se a aplicação do regulamento são os mesmos aplicáveis no RGCE:

- Electricidade: 0,290 Kgep/kWh;
- Combustíveis: 0,086 Kgep/KWh.

Para a eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento ( $\eta_i$ ) e arrefecimento ( $\eta_v$ ) devem utilizar-se os dados reais correspondentes aos equipamentos efectivamente instalados, fornecidos pelos fabricantes na base de ensaios normalizados, ou, em alternativa, podem-se utilizar os valores de referência da Tabela 13.

**Tabela 13:** Eficiência nominal dos sistemas de aquecimento e arrefecimento.

Sistema		Eficiência Nominal
Resistência eléctrica		1,00
Caldeira com combustível	Gasoso	0,87
	Líquido	0,80
	Sólido	0,6
Bomba de calor	Aquecimento	4
	Arrefecimento	3
Máquina frigorífica	Ciclo de compressão	3
	Ciclo de absorção	0,8

O RCCTE impõe assim que o valor das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária para cada fracção autónoma  $N_{tc}$  nunca poderá exceder o valor de referência  $N_t$  definido com base nos valores das necessidades de referência relativamente ao aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes,  $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_a$ , respectivamente.

$$N_t = 0,9 \cdot (0,01N_i + 0,01N_v + 0,15N_a) \quad [kgep / m^2 \cdot ano] \quad (3.26)$$

Os factores de ponderação incluídos nesta equação pretendem traduzir os padrões típicos de consumo nas habitações, obtidos em levantamentos estatísticos: 50% dos consumos para AQS, 25% para aquecimento e arrefecimento ambiente e 25% para outros fins específicos. Na prática, esta equação traduz o princípio de que as habitações não são aquecidas 24 h/dia durante toda a estação de aquecimento, nem arrefecidas durante todo o Verão. Estão também implícitos na equação os valores das eficiências nominais dos sistemas de aquecimento, de arrefecimento e de

produção de AQS que o RCCTE assume por defeito, e os correspondentes factores  $F_{pu}$  de conversão para energia primária. O factor 0,9 pretende traduzir o princípio de que um edifício que cumpra estritamente o mínimo exigido pelo RCCTE em termos de qualidade térmica da envolvente ( $N_i$  e  $N_v$ ) e dos respectivos sistemas de aquecimento, de arrefecimento e de preparação de AQS, não será regulamentar. Para o ser, terá que ser 10% melhor do que a soma ponderada dos requisitos mínimos de qualidade ( $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_a$ ) (Camelo *et. al.*, 2006).

## 3.2. REQUISITOS MÍNIMOS REGULAMENTARES

Na sua nova formulação, o RCCTE, à semelhança da versão de 1990, impõe requisitos mínimos de qualidade térmica aos elementos da envolvente dos edifícios/fracções autónomas a partir da limitação dos valores, quer do coeficiente de transmissão térmica superficial ( $U$ ) dos elementos opacos da envolvente, quer do factor solar dos vãos envidraçados.

### 3.2.1. Envolvente Opaca

O RCCTE estabelece valores máximos admissíveis para os coeficientes de transmissão térmica superficial da zona corrente da envolvente opaca, diferenciados consoante a zona climática de Inverno (I1, I2, I3) e o tipo de elemento da envolvente em zona corrente (paredes, coberturas, pavimentos sobre o exterior ou sobre alguns locais não aquecidos), conforme indica a Tabela 14. Distinguem-se dois tipos de envolvente:

- Envolvente Exterior – conjunto dos elementos do edifício ou da fracção autónoma que definem a fronteira entre o espaço útil interior e o ambiente exterior;
- Envolvente Interior – fronteira entre a fracção autónoma e ambientes normalmente não climatizados (espaços anexos não úteis: garagens, marquises, armazéns, sótãos, caves não habitadas, etc.), e ainda fracções autónomas em edifícios adjacentes.

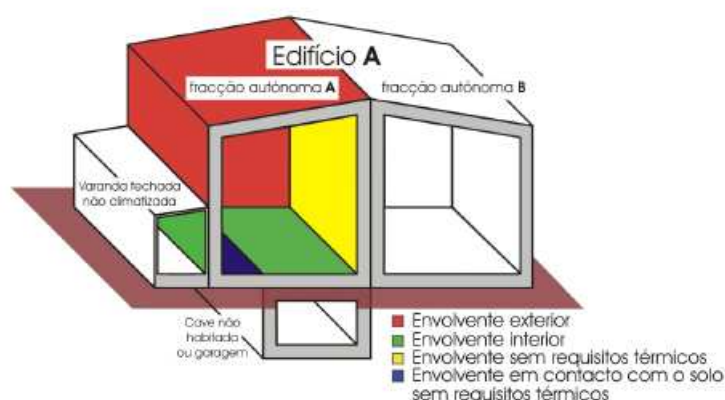
**Tabela 14:** Envolvente Opaca – Coeficientes de transmissão térmica superficial – valores máximos admissíveis –  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

Envolvente Opaca Zona Corrente		Zona Climática de Inverno $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )		
		I1	I2	I3
Exterior	Paredes	1,80	1,60	1,45
	Cobertura e pavimentos	1,25	1,00	0,90
Interior	Paredes	2,00	2,00	1,90
	Cobertura e pavimentos	1,65	1,30	1,20

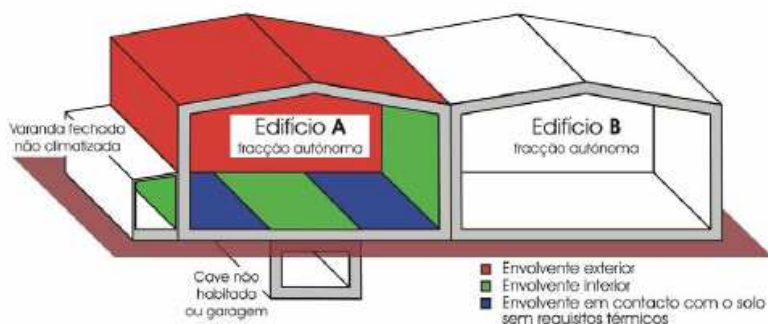
Na Figura 33 encontram-se sistematizados os diferentes elementos da envolvente da Fracção Autónoma A relativamente a um mesmo edifício (Edifício A).

Importa realçar que a nova versão do RCCTE considera como envolvente interior os elementos que confinam com outras fracções autónomas, desde que se situem em edifícios vizinhos (Figura 34).





**Figura 33:** Elementos da envolvente de uma fracção autónoma (A) confinante com outra fracção autónoma (B) de um mesmo edifício (Edifício A) (Camelo *et. al.*, 2006).

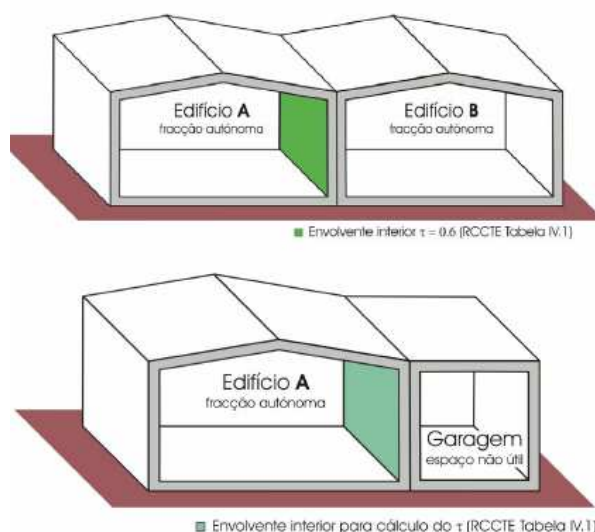


**Figura 34:** Elementos da envolvente de uma fracção autónoma (A) de um edifício A confinante com outra fracção autónoma (B) de um edifício vizinho B (Camelo *et. al.*, 2006).

Os requisitos térmicos relativamente à envolvente interior são, à partida, menos exigentes que os da envolvente exterior uma vez que as trocas térmicas entre o espaço útil e o espaço não útil são geralmente inferiores às que se observariam com o exterior pois a temperatura do ar nos espaços anexos não úteis ( $\theta_a$ ) toma normalmente valores intermédios entre a temperatura da zona útil ( $\theta_i$ ) e a temperatura do ar exterior ( $\theta_{atm}$ ), recorrendo para a quantificação de  $\theta_i$  ao parâmetro  $\tau$ . A Figura 35 ilustra duas situações típicas e os correspondentes valores do factor  $\tau$ .

Para valores de  $\tau$  superiores a 0,7 aplicam-se à envolvente interior os requisitos correspondentes à envolvente exterior.

O RCCTE de 2006 mantém para a envolvente opaca em zona corrente os mesmos requisitos mínimos de qualidade térmica estabelecidos na versão de 1990, mas torna-se mais restritiva relativamente aos elementos opacos em zonas não correntes, incluindo as zonas de ponte térmica plana (pilares, vigas, caixas de estores).



**Figura 35:** Elementos da envoltória interior e coeficiente  $\tau$  (Camelo *et. al.*, 2006).

### 3.2.2. Vãos Envidraçados

Os requisitos regulamentares para os vãos envidraçados são expressos em termos do factor solar dos vãos envidraçados horizontais e verticais ( $g_{\perp}$ ), ou seja, o quociente entre a energia solar transmitida através de um vão envidraçado com o respectivo dispositivo de protecção solar (100% activo) e a energia solar nele incidente.

Os requisitos relativos ao factor solar são impostos para vãos não orientados a Norte (entre Noroeste e Nordeste) e com uma área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem. De notar, no entanto, que para este limite de 5% conta a soma de todos os envidraçados presentes num espaço (excepto os orientados a norte), para evitar que um conjunto de pequenos envidraçados, somados entre si, acabem por ter um impacto indesejável equivalente a um grande envidraçado.

Os valores limites impostos para o factor solar dos vãos envidraçados com dispositivos de protecção solar 100% activos, são expressos em função da zona climática de Verão e da inércia térmica do edifício (Tabela 15). No caso do vão se encontrar protegido por uma pala ou elemento equivalente, que reduza a incidência da radiação solar, esse dispositivo deve ser considerado para a verificação do critério de protecção solar mínima do vão envidraçado. Por exemplo, num edifício de inércia térmica forte, um vão com vidro simples ( $g_{\perp} = 0,85$ ) protegido com uma pala horizontal com ângulo de  $60^{\circ}$  ( $F_o = 0,52$ ) apresenta uma protecção solar de 0,44 ( $0,85 \times 0,52 = 0,44$ ), satisfazendo o requisito de protecção solar de 0,50 aplicável à zona V3.

**Tabela 15:** Factores Solares Máximos Admissíveis dos Vãos Envidraçados.

Classe de Inércia Térmica	Zona Climática		
	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,15	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

### 3.3. REQUISITOS ENERGÉTICOS

Para cada fracção autónoma sujeita à verificação regulamentar é necessário proceder ao cálculo das necessidades energéticas de aquecimento ( $N_{ic}$ ), de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) e águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ), valores estes que terão de ser, respectivamente, inferiores aos correspondentes valores limites de referência para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento  $N_i$ , para arrefecimento  $N_v$  e para preparação das águas quentes sanitárias  $N_a$ , impostos no presente texto regulamentar. Para além destas condições, é necessário efectuar a soma ponderada daquelas necessidades, em termos de energia primária e em função das formas de energia final utilizadas ( $N_{tc}$ ). Este valor, definido como Necessidades Globais de Energia Primária da Fracção Autónoma ( $N_{tc}$ ), deverá ser inferior a um valor máximo ( $N_t$ ) definido por portaria conjunta. Na Figura 36 representa-se esquematicamente o que foi explicitado.



Figura 36: Esquema da Verificação Regulamentar – RCCTE 2006 (Camelo *et. al.*, 2006).

#### 3.3.1. Limitação das Necessidades Nominais de Energia Útil para Aquecimento

A limitação das necessidades nominais de aquecimento é expressa no termo  $N_i$  em função do factor de forma do edifício ou fracção autónoma e dos Graus Dias correspondentes ao Concelho onde o edifício se localiza. O factor de forma de uma fracção autónoma ( $FF$ ) define-se como o quociente entre o somatório das superfícies da envolvente exterior –  $A_{ext}$ , e da envolvente interior –  $A_{int}$ , através das quais se verificam as trocas de calor e o volume útil interior ( $V$ ) e traduz a compacidade dessa fracção. Cada elemento da envolvente interior deverá ser afectado do coeficiente  $\tau$ , correspondente ao espaço não-útil adjacente (RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.1)

Para o mesmo volume interior, factores de forma mais elevados implicam necessariamente maiores áreas de perda de calor exigindo portanto, para um mesmo clima, mais dispêndio de energia para aquecimento. A determinação do Factor de Forma ( $FF$ ) inclui todos os elementos da envolvente (interior e exterior) de acordo com a expressão seguinte. Na Figura 37 indicam-se os elementos da envolvente que intervêm na definição do Factor de Forma e ilustra-se o seu cálculo com um exemplo.

Assim, o RCCTE determina que cada fracção autónoma de um edifício abrangido por este regulamento não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta o aproveitamento dos ganhos solares e internos e de outras formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento,  $N_i$  (Tabela 17). Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ) foram estabelecidos com base em estudos paramétricos levados a cabo

para as diferentes zonas climáticas de Inverno e para diversas tipologias de fracções autónomas ou seja, diferentes factores de forma.

As variações paramétricas incidiram também em soluções construtivas da envolvente com vários níveis de isolamento térmico na envolvente e diferentes áreas de vãos envidraçados. No entanto, os valores limites estabelecidos para  $N_i$ , derivam de uma solução de referência correspondente a uma área de vãos envidraçados igual a 15% da área útil de pavimento, sem ganhos solares, com uma taxa de renovação horária nominal (Rph) de  $0,8h^{-1}$  com soluções construtivas e de isolamento térmico correspondentes aos valores dos coeficientes de transmissão térmica indicados na Tabela 16.

$$FF = \frac{\left( \sum_{i=1}^n A_{ext} \right) + \sum_{i=1}^n (\tau \cdot A_{int})}{V} \quad (3.27)$$

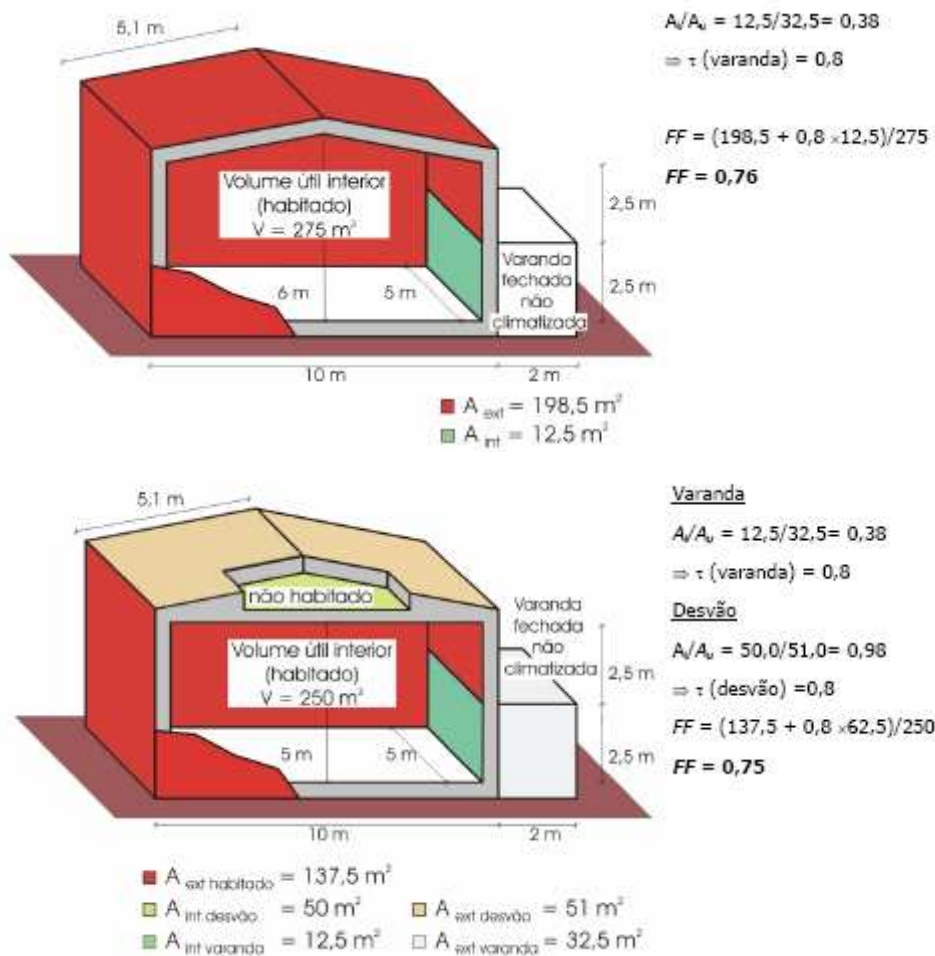


Figura 37: Definição do Factor de Forma (Camelo *et. al.*, 2006).

**Tabela 16:** Envolvente Opaca e Envidraçados – Coeficientes de transmissão térmica de referência no Continente e Regiões Autónomas,  $U_{ref}$  (W/m<sup>2</sup>.°C), para estabelecer os Valores Limites das Necessidades Nominais de Referência de Aquecimento  $N_i$ .

Envolvente Opaca em Zona Corrente		Continente – Zona Climática de Inverno			Madeira e Açores
		I1	I2	I3	I1
Exterior	Paredes	0,70	0,60	0,50	1,40
	Cobertura e Pavimentos	0,50	0,45	0,40	0,80
Interior	Paredes	1,40	1,20	1,00	2,00
	Cobertura e Pavimentos	1,00	0,90	0,80	1,25
Envidraçados		4,30	3,30	3,30	4,30

Assim, no que diz respeito aos coeficientes de transmissão térmica de referência utilizados, determinam uma melhoria do nível de isolamento térmico da envolvente em cerca de 50 % relativamente ao RCCTE de 1990. As correlações apresentadas na Tabela 17 denotam uma maior exigência regulamentar para edifícios com elevados Factores de Forma, como forma de sensibilizar os promotores a um maior cuidado na qualidade térmica da envolvente.

**Tabela 17:** Necessidades Nominais de Referência de Aquecimento –  $N_i$  (kWh/m<sup>2</sup>.ano).

$FF \leq 0,5$	$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$
$0,5 < FF \leq 1$	$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$
$1 < FF \leq 1,5$	$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}](1,2 - 0,2 \text{ FF})$
$FF > 1,5$	$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$

### 3.3.2. Limitação das Necessidades Nominais de Energia Útil para Arrefecimento

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ) foram estabelecidos com base em estudos paramétricos levados a cabo para as diferentes zonas climáticas de Verão e para diversas tipologias de fracções autónomas, ou seja, diferentes factores de forma. As variações paramétricas incidiram também em soluções construtivas com vários níveis de isolamento térmico e tiveram por base, à semelhança do que foi feito para o período de aquecimento, os valores de referência relativos aos coeficientes de transmissão térmica que se encontram na Tabela 16 (envolvente opaca em zona corrente, envidraçados). Consideram-se ainda as orientações norte-sul e este-oeste para os cálculos efectuados. Assim o RCCTE determina que “*cada fracção autónoma de um edifício abrangido por este regulamento não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos solares e internos, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento,  $N_v$* ”.

Na Tabela 18 encontram-se os valores limites impostos pelo RCCTE (artigo 15º) para as necessidades nominais de referência de arrefecimento  $N_v$  expressos em função da zona climática de Verão.

**Tabela 18:** Necessidades Nominais de Referência de Arrefecimento –  $N_v$  (kWh/m<sup>2</sup>.ano).

<b>V1 (Norte)</b>	$N_v = 16 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$	<b>V1 (Sul)</b>	$N_v = 22 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$
<b>V2 (Norte)</b>	$N_v = 18 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$	<b>V2 (Sul)</b>	$N_v = 32 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$
<b>V3 (Norte)</b>	$N_v = 26 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$	<b>V3 (Sul)</b>	$N_v = 32 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$
<b>Açores</b>	$N_v = 21 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$	<b>Madeira</b>	$N_v = 23 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$

### 3.3.3. Limitação das Necessidades Nominais de Energia Útil para Produção de Águas Quentes Sanitárias

O RCCTE preconiza ao nível da produção de águas quentes sanitárias que “cada fracção autónoma de um edifício abrangido por este Regulamento não pode, sob condições e padrões de utilização nominais, como resultado dos tipos e eficiências dos equipamentos de produção de água quente sanitária, bem como da utilização de formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível de necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas (Na).”

O RCCTE torna obrigatório o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária, na base de 1m<sup>2</sup> de colector por ocupante previsto, desde que os edifícios (fracções autónomas) tenham uma cobertura em terraço ou uma cobertura inclinada com água cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre Sudeste e Sudoeste. As coberturas não deverão ainda ser sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso. Embora esteja previsto no articulado 1m<sup>2</sup> de colector por ocupante, este valor poderá ser reduzido de modo a que não seja ultrapassada 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste.

O limite das necessidades de energia para preparação de águas quentes (Na) é estabelecido em função do consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias –  $M_{ags}$ , do número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias ( $n_d$ ), da área útil de pavimento ( $A_p$ ) com base na expressão:

$$Na = \frac{0,081 \cdot M_{ags} \cdot n_d}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (3.28)$$

Na expressão anterior,  $n_d$  traduz o número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias e  $M_{ags}$  os valores do consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias, valores estes que diferem, consoante se trate de edifícios residenciais ou de serviços. Para os edifícios residenciais, o RCCTE considera que em média uma pessoa necessita de 40l de água quente por dia e que o número de ocupantes depende da tipologia da fracção autónoma. Na Tabela 19 especificam-se os valores a atribuir às variáveis para o sector residencial.

Para o caso dos edifícios de serviços, o RCCTE admite que o consumo total diário de referência de águas quentes sanitárias é de 100l. Na Tabela 20 indicam-se os valores previstos no articulado do regulamento para o consumo anual de água quente em função do tipo de utilização. No entanto, o RCCTE aceita que se utilize qualquer outro valor desde que justificado.

**Tabela 19:** Edifícios Residenciais – Consumo anual de águas quentes sanitárias.

Tipologia	$M_{ags}$		$n_d$	Consumo anual de águas quentes (litros)
	Consumo médio diário por ocupante (litros)	Ocupantes	Período de consumo	
T0 e T1	40	2	365	29200
T2		3		43800
T3		...		...
$T_n$		$n+1$		$(n+1) 14600$

**Tabela 20:** Edifícios de Serviço – Consumo de águas quentes sanitárias.

Utilização dos Edifícios de Serviço	Número de Dias de Consumo de AQS $n_d$	Consumo médio diário (litros)	Consumo anual de águas quentes (litros)
Permanente	365	100	36.500
Encerrado 1 dia por semana	313		31.300
Encerrado 1,5 dias por semana	287		28.700
Encerrado 2 dias por semana	261		26.100

O RCCTE prevê ainda a utilização de qualquer outra forma de energia renovável, por exemplo, painéis fotovoltaicos, energia geotérmica, recuperação de calor de equipamentos ou fluidos residuais, etc.) em alternativa à utilização de colectores solares térmicos, que numa base anual, captem energia equivalente à dos colectores solares. O RCCTE exclui especificamente a biomassa em lareiras como alternativa aos colectores solares. Quanto ao fim a que se destina a energia renovável, esta poderá não ser para o aquecimento de água desde que seja mais eficiente ou conveniente.





## 4. CASO DE ESTUDO – AVALIAÇÃO FACE AO RCCTE

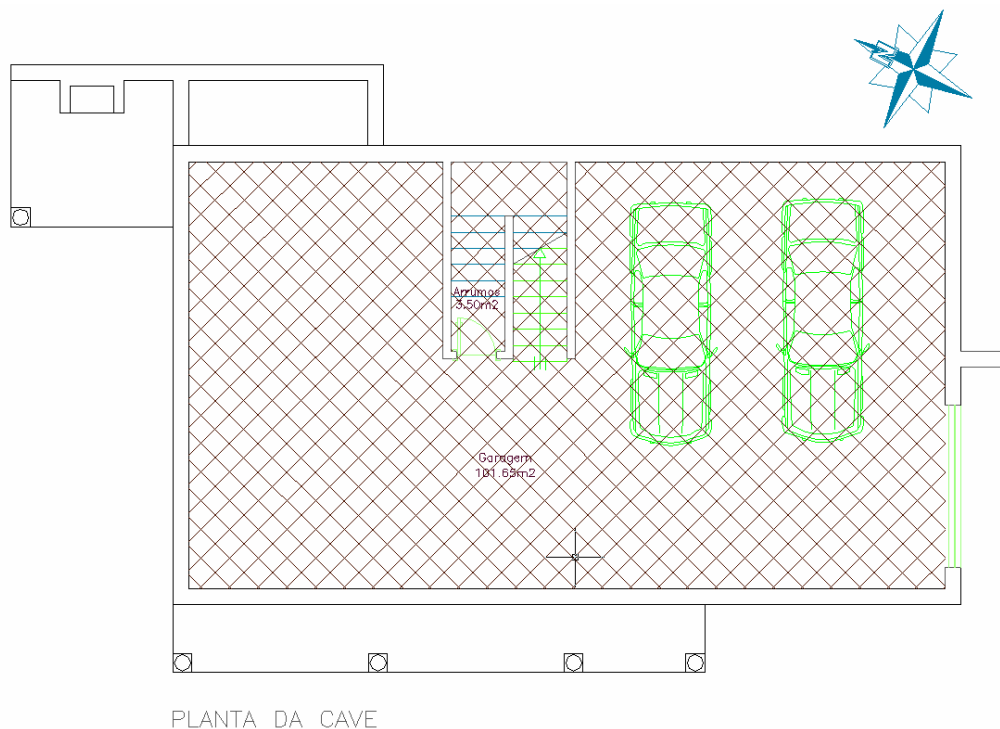
### 4.1. INTRODUÇÃO E DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O edifício em estudo é uma moradia unifamiliar, localizada na Carrasqueira, concelho das Caldas da Rainha (zona climática I1-V1), constituída por 3 pisos que se destinam exclusivamente a habitação, situada a 203m de altitude, numa zona rural, e sem edifícios adjacentes.

Os dados climáticos da estação de aquecimento (Inverno) para a zona climática I1 localizada no Continente são:

- Duração da estação de aquecimento igual a 6 meses;
- Número de graus-dias (GD) igual a 1500°C.dia;
- Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul ( $G_{sul}$ ) igual a 108kWh/m<sup>2</sup>.mês;
- Temperatura interior ( $\theta_{int}$ ) de conforto igual a 20°C;
- Temperatura externa do projecto igual a 30°C.

A fracção autónoma tem uma área útil de 149m<sup>2</sup>, com uma altura média de 2,6m e fachadas de cor clara orientadas a Noroeste, Nordeste, Sudoeste e Sudeste. Os 3 pisos que a constituem, cave térrea, rés-do-chão e sótão, estão ilustrados nas Figuras 38, 39 e 40.



**Figura 38:** Planta da Cave.

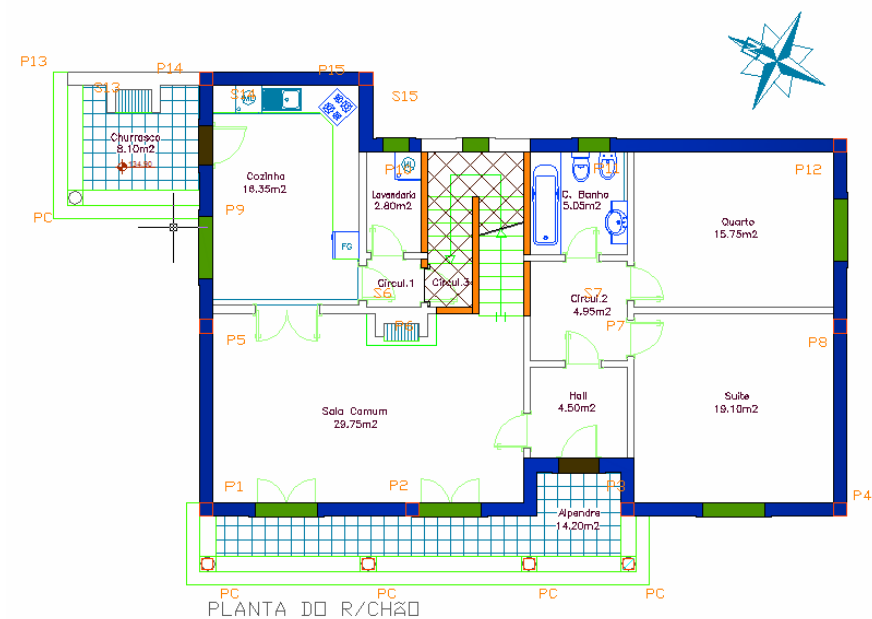


Figura 39: Planta do Rés-do-chão.

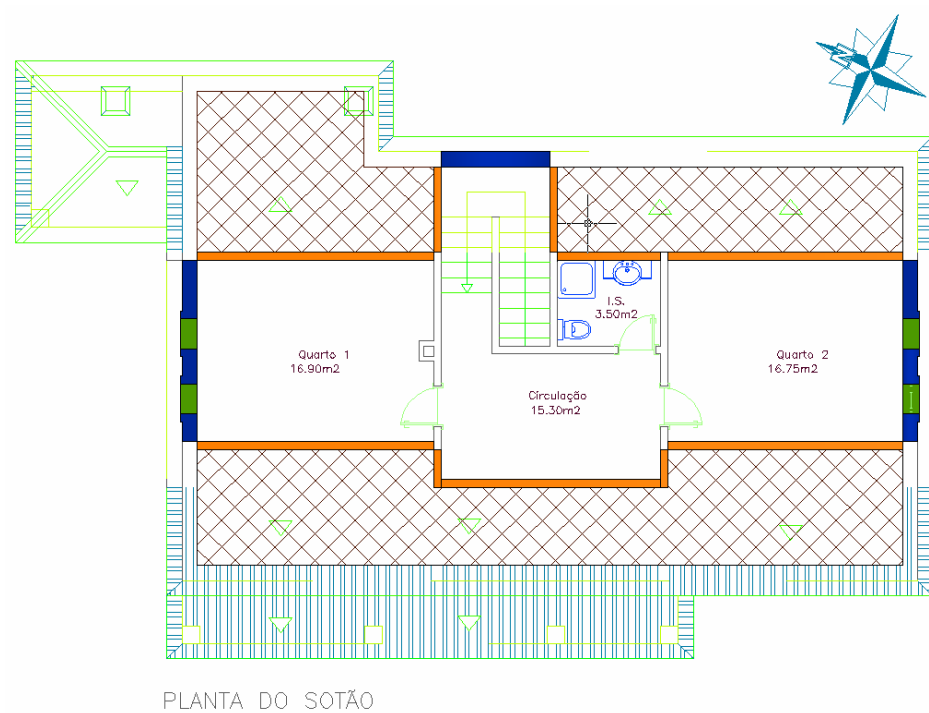







Figura 40: Planta do Sotão.

LEGENDA:			
	paredes exteriores		vãos envidraçados
	paredes interiores		portas
	espaço não útil		espaço exterior
	espaço útil		pilar

A constituição de cada um dos pisos está descrita de forma resumida na Tabela 21.

**Tabela 21:** Constituição dos pisos da Moradia.

Piso	Divisões	Área (m <sup>2</sup> )
Cave	Garagem	101,66
	Arrumos	3,50
Rés-do-chão	Hall	4,51
	Sala comum	29,75
	Cozinha	16,34
	Lavandaria	2,81
	Circulação 1	1,38
	Circulação 2	4,95
	Circulação 3	4,15
	Casa de banho	5,06
	Suite	19,13
Sótão	Quarto	15,75
	Circulação	12,08
	Quarto 1	16,92
	Quarto 2	16,74
	Instalação sanitária	3,49

*Nota: As divisões de áreas não úteis encontram-se a amarelo.*

A moradia, na sua forma inicial, inclui para climatização dos espaços úteis da fracção autónoma uma caldeira a combustível sólido, uma bomba de calor para arrefecimento e uma caldeira mural para aquecimento das AQS com acumulação com 50mm a 100mm de isolamento térmico com uma eficiência de conversão nominal de 0,82. Para a caldeira a combustível sólido e a bomba de calor foram adoptadas as eficiências nominais de referência do RCCTE definidas no Artigo 18º, ponto 2.

De acordo com os elementos disponibilizados, a entrada e saída de ar nas instalações sanitárias é feita de forma natural, através de aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior. O exaustor na cozinha é o único dispositivo de extracção mecânica de que a habitação dispõe, pelo que se pode concluir que a fracção autónoma só têm ventilação natural e que não satisfaz a NP-1037-1.

## 4.2. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

Descrevem-se de seguida as características para análise, à luz do RCCTE, da fracção autónoma em estudo. Tais características prendem-se essencialmente com o comportamento térmico da envolvente, das suas pontes térmicas e dos vãos envidraçados.

### 4.2.1. Caracterização Térmica das Soluções Construtivas

Nas Tabelas seguintes descrevem-se e caracterizam-se termicamente em termos dos coeficientes de transmissão térmica superficiais (U), de acordo com o ITE 50 (Santos, 2006), as soluções construtivas dos elementos opacos da envolvente (incluindo as zonas de ponte térmica plana) e em termos dos coeficientes de transmissão térmica linear as pontes térmica ( $\psi$ ). Identificaram-se já neste primeiro passo a existência de irregularidades ao nível dos coeficientes

de transmissão térmica máximos admissíveis pelo regulamento, nomeadamente na cobertura exterior da moradia que não possui isolamento térmico e na ponte térmica plana existente.

**Tabela 22:** Paredes Exteriores e Cobertura.

Descrição	U [W/m <sup>2</sup> °C]	U máximo [W/m <sup>2</sup> °C]
<b>Paredes simples</b> de fachada constituídas por tijolo furado com espessura da alvenaria 0,24m com revestimentos aderentes em ambas as faces. <b>Isolamento térmico pelo exterior:</b> Poliestireno expandido moldado (EPS), com 30mm de espessura	0,67	1,80
<b>Pilar</b> (ponte térmica plana) de betão estrutural	2,15 (Ascendente) 1,70	1,80
<b>Cobertura inclinada sem isolamento térmico</b> constituída por blocos de cofragem cerâmicos com espessura da laje de 0,33m.	(Descendente) 1,30	1,25

**Tabela 23:** Envoltente Interior.

Descrição	U [W/m <sup>2</sup> °C]	U máximo [W/m <sup>2</sup> °C]
<b>Paredes simples sem isolamento térmico</b> constituídas por tijolo furado com espessura da alvenaria 0,20m com revestimentos aderentes em ambas as faces.	1,3	2
<b>Pavimento de laje maciça</b> com 0,20m de espessura sem tecto falso, aplicado <b>directamente sobre a betonilha.</b>	(Ascendente) 0,88	1,65
<b>Isolamento térmico pelo interior</b> , preenchendo totalmente o espaço intermédio: Poliestireno expandido moldado (EPS) com 30mm de espessura.	(Descendente) 0,83	

Relativamente às pontes térmicas lineares, o RCCTE indica, para as situações mais comuns, os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear ( $\Psi$ ) que poderão ser adoptados (RCCTE - Tabelas IV.3). Na Tabela 24 indicam-se as pontes térmicas lineares identificadas nas fracções autónomas.

**Tabela 24:** Coeficientes de transmissão térmica linear.

Descrição: Pontes térmicas lineares			
Ligações entre:	Comprimento [m]	Parâmetros para a determinação de $\Psi$	$\Psi$ [W/m°C]
Fachada e Pavimentos terreos	3,3	$Z > 0,4 / d > 0,60$	0,25
Fachada e Pavimentos	43,5	$e_m = 0,25$	0,55
Fachada e Pavimentos intermédios	46,65	$\Psi = \Psi_{sup} + \Psi_{inf}$ $\Psi = 0,10 + 0,10$	0,20
Fachadas e coberturas inclinadas ou terraços	38,55	$E_p = 0,20$	0,45
Duas paredes verticais	26	$e_m \geq 0,22$	0,15

Na Tabela 25 encontram-se descritos os valores dos coeficientes de transmissão térmica  $U$  dos vãos envidraçados, de acordo com o ITE 50 (Santos, 2006).

O valor de  $U$  dos vãos envidraçados depende do tipo de caixilho e de janela (fixa, giratória ou de correr), da permeabilidade ao ar dos dispositivos de oclusão nocturna e do número de vidros (simples ou duplo, no caso do duplo depende ainda da espessura da lâmina de ar).

**Tabela 25:** Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados.

Descrição	$U$ [W/m <sup>2</sup> °C]	$U$ máximo [W/m <sup>2</sup> °C]
Janelas de alumínio com quadricula Vidro duplo incolor+incolor, (4 a 8) mm + 4 mm Protecções interiores opacas	3,4	4,3

De acordo com os dados fornecidos a fracção autónoma é provida de exaustor de cozinha e nas instalações sanitárias a entrada e saída de ar é feita de forma natural. Assim, segundo o RCCTE o edifício é ventilado naturalmente. Como o edifício não está em conformidade com a NP 1037-1, para a determinação da taxa nominal de renovações horárias do ar interior, tem de recorrer-se à classe de permeabilidade ao ar das caixilharias, admitindo caixilharias sem classificação e não possuindo caixas de estore. Assim, uma vez que o edifício se localiza numa zona rural e sendo a sua altura acima do solo menor que 10 m, de acordo com o Quadro VI.2 do RCCTE pode concluir-se que a classe de exposição aos ventos é a Exposição 2. Face a essa classe de exposição, a taxa de renovação horária nominal apresenta então um valor de 0,95 h<sup>-1</sup>. Os valores convencionais da taxa de renovação horária nominal para edifícios de habitação são obtidos a partir do Quadro IV.1 (RCCTE).

#### 4.2.2. Cumprimento dos Requisitos Regulamentares

De acordo com o anexo IX do RCCTE o regulamento prevê o cumprimento de requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios. Tais requisitos prendem-se com os coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas, quer em zona corrente, quer em zonas não correntes da envolvente, bem como estipula um factor solar admissível para os vãos envidraçados.

No presente caso de estudo verifica-se que os requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis para a cobertura exterior e para a ponte térmica plana existente não são cumpridos. Foi então estudado o comportamento face ao RCCTE caso estes requisitos fossem cumpridos. Para tal foram calculados os indicadores para os requisitos energéticos admitindo os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis para a cobertura exterior, 1.25 W/m<sup>2</sup>°C, e para o pilar, 1.80 W/m<sup>2</sup>°C (Tabela 26).

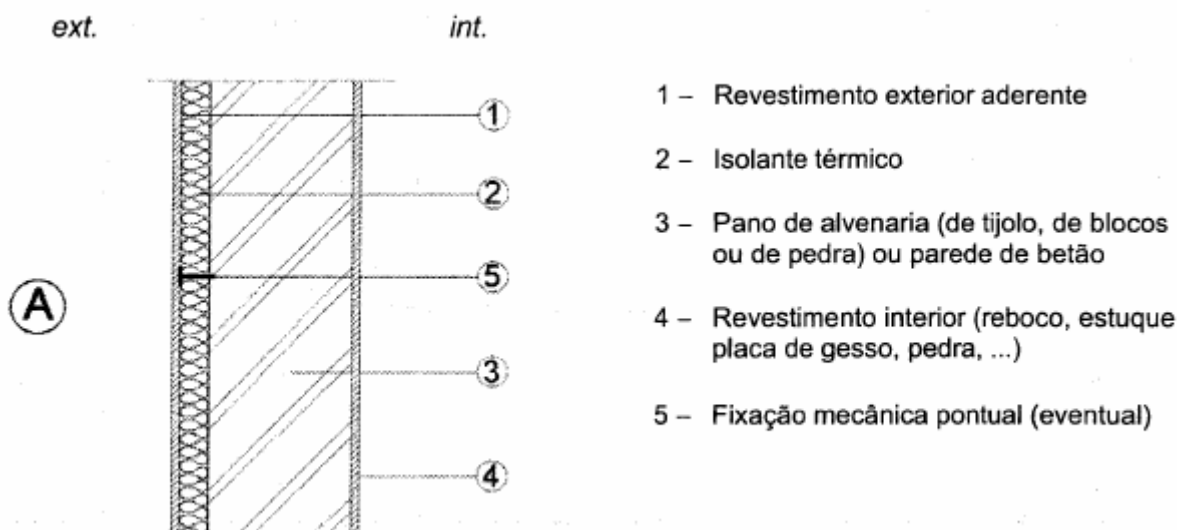
**Tabela 26:** Necessidades nominais de energia cumprindo os requisitos mínimos de qualidade térmica.

Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nv (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Na (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
81,12	102,61	22,00	6,52	39,71	31,29
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	4,23		6,29		Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)

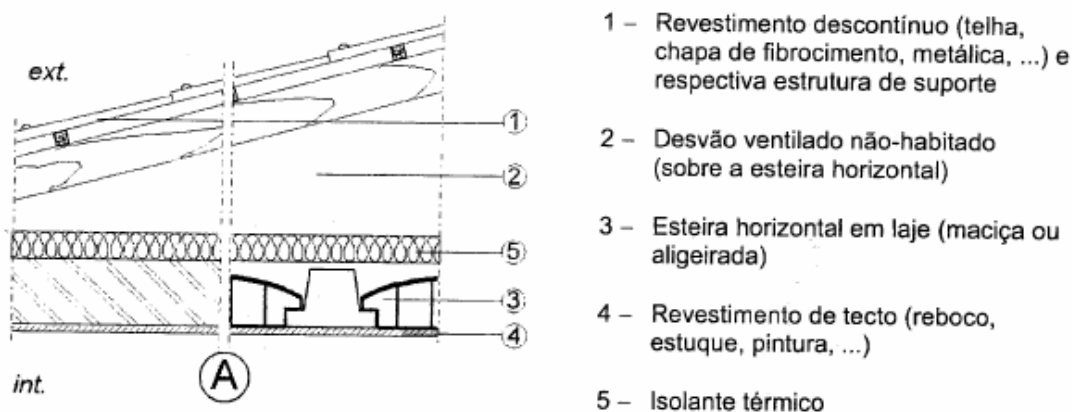
Apesar de se terem satisfeito os requisitos mínimos para a qualidade térmica do edifício, as necessidades de aquecimento continuam a não cumprir os requisitos do RCCTE (Ni<Nic). Torna-se então necessário explorar os pontos mais críticos de modo a satisfazer esta exigência. Desta forma, para que o edifício esteja de acordo com os requisitos mínimos regulamentares exige-se a

diminuição das necessidades nominais de aquecimento. Para tal, é necessário diminuir as perdas associadas à envolvente exterior.

De uma forma iterativa, foi alcançado o total cumprimento do disposto no RCCTE. Foi adoptada uma solução construtiva de isolamento térmico com EPS nas paredes da fachada com 80mm de espessura pelo exterior (conforme ilustrado na Figura 41), o que conduz a um coeficiente de transmissão térmica de  $0,37\text{W/m}^2\text{°C}$ , e foi também adoptado um isolamento térmico contínuo XPS de 100mm de espessura sobre a esteira horizontal da cobertura do edifício que diminui o coeficiente de transmissão térmica de 1,7 para  $0,30\text{W/m}^2\text{°C}$  (Figura 42). Para o pilar estipulou-se a utilização de lã de vidro como isolante térmico ( $U=0,98\text{W/m}^2\text{°C}$ ).



**Figura 41:** Parede simples de fachada com isolamento térmico pelo exterior (Santos, 2006).



**Figura 42:** Cobertura inclinada com isolante sobre a esteira horizontal (Santos, 2006).

Os resultados obtidos estão ilustrados na Tabela 27. A folha de cálculo é apresentada no Anexo A.1.

**Tabela 27:** Necessidades nominais de energia do cumprimento dos requisitos regulamentares.

Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nv (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Na (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
81,12	80,38	22,00	5,23	39,71	31,29
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	3,89		6,29		Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)

Deste modo verificou-se uma clara diminuição das necessidades nominais de aquecimento, o que contribuiu para o cumprimento de todos os requisitos regulamentares. A fracção autónoma mantém-se com uma classe energética B ( $N_{tc}/N_t=61,91\%$ ). Na Figura 43 está ilustrada a etiqueta energética para a moradia cumprindo os requisitos regulamentares.

**Figura 43:** Etiqueta energética cumprindo os requisitos regulamentares.

### 4.3. AQS – ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS

Segundo o número 2 do artigo 7º (RCCTE) “O recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios abrangidos pelo RCCTE é obrigatório sempre que haja uma exposição solar adequada, na base de 1m<sup>2</sup> de coletor por ocupante convencional previsto, conforme definido na metodologia de cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento de água sanitária referida no artigo 11.º, podendo este valor ser reduzido por forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste”. Neste caso, tratando-se de um T4, são necessários 5m<sup>2</sup> de colectores solares. Ainda de acordo com o RCCTE (número 4 do Anexo IV) a contribuição de energia fornecida por estes sistemas deverá ser calculada utilizando o programa SOLTERM do INETI.

#### 4.3.1. Conceitos Gerais do SolTerm

O SolTerm é um programa de análise de desempenho de sistemas solares (v5.0: térmicos e fotovoltaicos), especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal. A análise de desempenho de um sistema solar é feita no SolTerm via simulação energética sob condições quase estacionárias: isto é, são simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos curtos (10 minutos), durante os quais se considera constante o estado do ambiente e o do sistema. Nestas simulações são usadas informações sobre:



- Configuração / dimensionamento do sistema;
- Estratégias de controlo e operação;
- Radiação solar horizontal e temperatura ambiente em base horária;
- Obstruções e sombreamentos;
- Características técnicas dos componentes (colectores, armazenamento, etc.);
- Consumo (ou “carga”) do sistema em base horária média mensal.

A partir dos resultados das simulações de um sistema é possível obter o seu pré-dimensionamento. O *software* disponibiliza também análise económica e cálculo do tarifário do regime de incentivos à electricidade a partir de fontes renováveis. Uma outra ferramenta útil refere-se à componente ambiental, designadamente ao cálculo das emissões de gases com efeito de estufa evitadas pelo uso dos sistemas solares. O programa produz relatórios da climatologia, das análises de desempenho energético e das análises económicas.

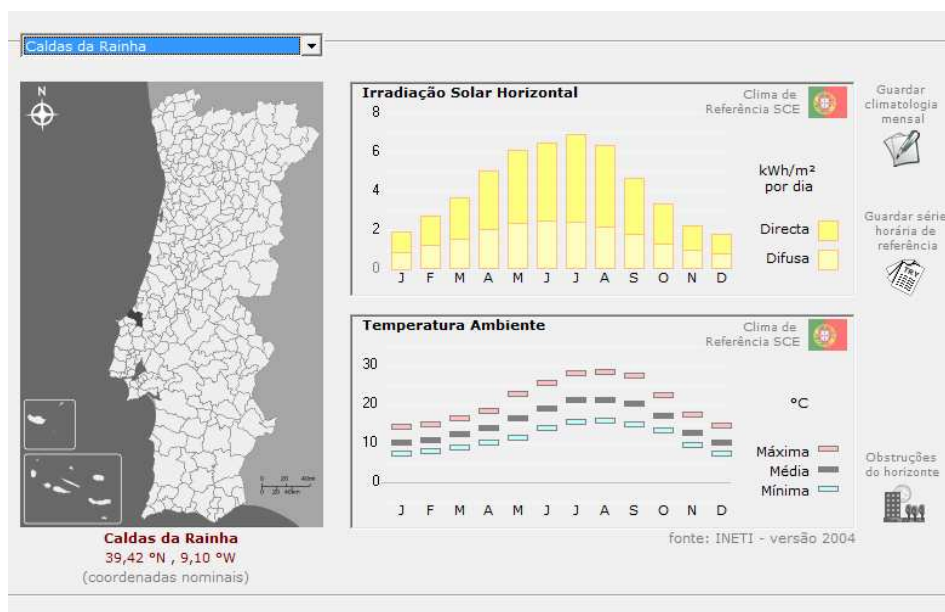
A análise do desempenho de sistemas solares segundo o programa é dividido pelas seguintes etapas:

1. **Clima e Local** – Onde se selecciona a localização do caso de estudo e se definem as obstruções do horizonte e sombreamentos que localmente influenciam o sistema. O SolTerm possui um banco de dados de Clima que contém Anos Meteorológicos de Referência para 308 Concelhos de Portugal. É fornecida toda informação relativa ao recurso solar e à temperatura ambiente que permite simular o desempenho dos sistemas solares;
2. **Definição do Sistema Solar** – O programa permite seleccionar o sistema solar com que se pretende trabalhar, térmico ou fotovoltaico. Nesta etapa é necessário fornecer informações gerais de configuração e controlo, e informações específicas sobre componentes, ligações, consumos, sistema de apoio, etc. O *software* fornece um conjunto de soluções de colectores térmicos, kits térmicos, depósitos/permutadores térmicos, colectores fotovoltaicos, baterias e inversores previamente ensaiados e certificados;
3. **Análise Energética** – Concluído o Projecto, o programa faz de imediato uma simulação detalhada do sistema seleccionado, isto é, um balanço térmico ou eléctrico do sistema para um ano representativo. O dimensionamento do sistema é feito explorando em ciclo uma sequência de definição e/ou ajuste de componentes seguido de simulação energética e análise dos resultados, até se estar satisfeito com o desempenho obtido para o Projecto;
4. **Análise Económica** – O SolTerm interpreta o sistema e disponibiliza uma análise económica onde o utilizador introduz dados técnico-económicos. O programa apresenta na interface os custos e proveitos do investimento e o Valor Actualizado Líquido (VAL), isto é, os proveitos (ou prejuízos) globais do investimento em energia solar referidos ao momento actual, descontando os efeitos da inflação futura;
5. **Benefícios Ambientais** – Por fim, o programa reporta o consumo de energia primária de origem fóssil e as emissões de gases com efeito de estufa.

#### 4.3.2. Cálculo das Necessidades de Energia para a preparação de AQS utilizando o SolTerm

A primeira etapa foi a indicação do concelho onde se insere a fracção autónoma: Caldas da Rainha. Para este concelho, e como demonstra a Figura 44, obtiveram-se os valores de irradiação solar horizontal e de temperatura ambiente para um ano representativo.





**Figura 44:** Concelho onde se insere o caso de estudo.

Da Figura retiramos que a irradiação solar para as Caldas da Rainha varia ao longo de um ano entre 2 e 7 kWh/m<sup>2</sup> nos meses de Dezembro e Julho, respectivamente, e a temperatura ambiente registada pode variar entre cerca de 30°C de máxima no mês de Agosto, e 8°C de mínima em Janeiro.

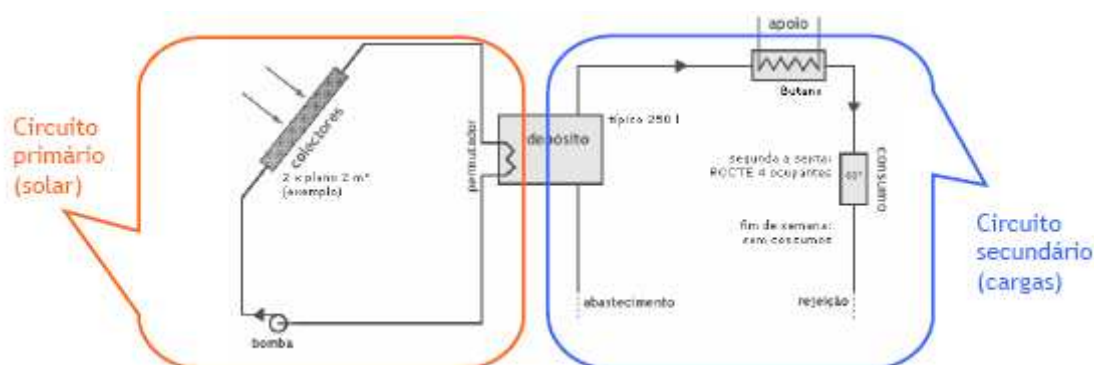
Uma vez que a habitação se situa numa zona rural, o RCCTE define a adopção de um ângulo de horizonte de 20° (Figura 45).



**Figura 45:** Obstruções do horizonte.

Definida a climatologia do caso de estudo, procedeu-se à definição do sistema solar.

A configuração básica de um sistema solar térmico inclui: um circuito primário (solar) constituído por um campo de colectores ligado por um permutador a um depósito, e um circuito secundário que interliga tomadas de água quente no depósito, cargas térmicas (consumos de energia na forma de água quente, com ou sem reaproveitamento da água em si), e abastecimento de água ao depósito. Neste circuito secundário existe por regra um sistema de apoio que complementa a energia de origem solar de forma a atingir a energia requerida pelas cargas térmicas (Figura 46).



**Figura 46:** Configuração básica de um Sistema Solar Térmico (Aguiar, 2007).

A configuração de um Sistema Solar Térmico pode diferir de 3 formas:

1. Uma primeira variante em que o circuito primário e secundário estão ligados directamente por um permutador, sem intervenção de um depósito. Adequado especialmente quando há recirculação de água no circuito secundário, por exemplo ao fornecer calor para processos industriais, para aquecimento ambiente ou de piscinas;
2. Uma variante com depósito em que o circuito primário alimenta em energia um depósito, através de um permutador. Do depósito é retirada energia consoante as necessidades. Esta hipótese é em geral a mais interessante do ponto de vista energético e frequentemente também do ponto de vista económico. Dentro da configuração de sistemas com depósito existe o caso de sistemas, ditos tipo “kit”, em que os componentes colector / permutador / depósito estão integrados. São geralmente utilizados na preparação de águas sanitárias domésticas;
3. Uma última variante, “multi”, a mais complexa, inclui duas formas de proceder à passagem da energia recolhida nos colectores solares para as cargas térmicas, uma via depósito / permutador e outra via permutador simples. Tal variante pode ser interessante por exemplo quando há uma carga prioritária como aquecimento de águas sanitárias e outras cargas de menor prioridade, eventualmente sazonais, tais como aquecimento ambiente na estação fria e aquecimento de piscinas exteriores na estação quente.

A variante com depósito é a que melhor se enquadra para a fracção autónoma em estudo, uma vez que o sistema solar pretendido será apenas utilizado para aquecimento de água de uma habitação.

Uma vez que o RCCTE prevê uma base de  $1\text{m}^2$  de colector por residente, resulta para este edifício uma área de  $5\text{m}^2$  de painéis solares. De tal forma, e para a situação actual, foi utilizado um colector solar genérico existente na base de dados do SolTerm com as seguintes características:

- Área:  $2\text{m}^2$ ;
- Eficiência de Absorção ( $\eta_0$ ): 0,72;
- Coeficiente de perda de calor linear ( $a_1$ ):  $3,820\text{ W/m}^2/\text{K}$ ;
- Coeficiente de perda de calor quadrático ( $a_2$ ):  $0,010\text{ W/m}^2/\text{K}^2$ .

O Sistema Solar apresenta então uma configuração com 3 colectores, perfazendo uma área total de  $6\text{m}^2$ , com uma potência nominal de 4,2kW. Como o consumo diário de referência de AQS nos edifícios residenciais é de 40l por habitante (RCCTE), foi previsto um depósito típico de 200l, associado a um permutador. As características do conjunto são visíveis na Figura 47.

**em arquivo**  
típico 200 l

**Permutador de calor**  
☒ Serpentina (interno)      Eficácia   55%  
☐ Camisa    ☐ Externo

**Depósito**

**Localização**  
☒ Interior    ☐ Exterior

**Posição**  
☐ Horizontal    ☒ Vertical  
☒ existem deflectores internos

**Material**  
☐ bom condutor de calor (e.g. cobre)  
☒ médio condutor de calor (e.g. inox)  
☐ mau condutor de calor (e.g. plástico)

**Características geométricas**  
  Volume = 200 l  
  Área externa: 2,70 m<sup>2</sup>      caso de cilindros

**Coefficiente de perdas térmicas**  
  Global: 2,7 W/K    Específico: 1,000 W/m<sup>2</sup>/K      sugerir

**Figura 47:** Características do conjunto depósito/permutador utilizado.

Relativamente aos consumos, ou cargas térmicas, foram utilizados os consumos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios (Figura 48).

**Parâmetros a declarar**  
☒ edifício residencial    ☐ edifício de serviços

**descrição sumária do edifício**  
1 alojamentos    5 ocupantes

Tipologias presentes: 0 T0    0 T1    0 T2    0 T3    1 T4    0 T5    0 T6

**Consumos diários de referência**  
Temperatura da água de abastecimento: 15°C  
Temperatura nominal de consumo: 60°C  
Para preparação de águas quentes: **200 l (10,5 kWh)**

**Compatibilidade RCCTE**  
☒ usar no Projecto e ajustar o restante deste de acordo com valores de referência do RCCTE e boas práticas

guardar e usar    sair (apenas)

**Figura 48:** Cargas Térmicas do Sistema Solar.

Na Figura 49, está ilustrado o sistema térmica definido.

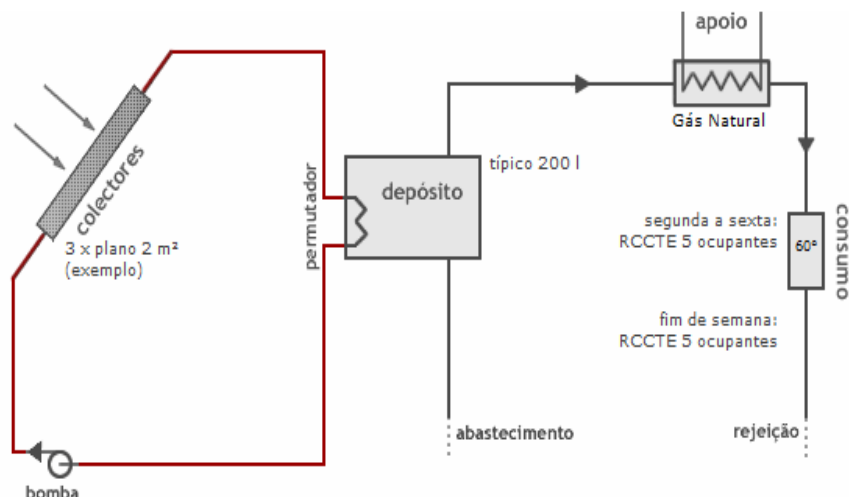


Figura 49: Sistema Térmico.

No “output” dado pelo *software*, podem-se observar os valores mensais, bem como o valor anual dos seguintes parâmetros:

- Radiação horizontal – energia acumulada da radiação solar global na horizontal à superfície, por unidade de área (kWh/m²). A radiação global é a soma das componentes directa (vinda da direcção do Sol) e difusa (vinda do hemisfério celeste e reflectida do solo em superfícies junto ao solo) da radiação;
- Radiação Inclinada – energia acumulada da radiação solar global à face dos colectores solares, por unidade de área (kWh/m²), portanto num plano inclinado;
- Desperdiçado – energia acumulada que o sistema solar recolhe mas tem de dissipar (kWh). O desperdício de energia recolhida surge quase sempre por se ultrapassarem limites de temperatura de armazenamento de água em situações em que o consumo é pequeno ou nulo;
- Fornecido – energia acumulada que o sistema fornece para consumo (kWh). Trata-se de energia final útil, isto é, efectivamente entregue;
- Carga – valor acumulado da energia solicitada para consumo (kWh);
- Apoio – energia acumulada entregue para consumo pelo sistema de apoio, ou auxiliar, para complementar a energia fornecida pelo sistema solar (kWh).

Quanto aos índices anuais, são apresentados os seguintes:

- Fracção solar – trata-se da percentagem de energia útil fornecida para consumo a partir de radiação solar (razão “Fornecido” / “Carga” em valores anuais). É portanto a contribuição do sistema solar em si para o consumo solicitado. A fracção solar é a principal medida de avaliação de desempenho em sistemas solares térmicos. Em geral procura-se atingir uma fracção solar (anual) entre 40% e 90%. Abaixo desta gama o sistema estará em geral subdimensionado e acima desta gama é frequente que esteja sobredimensionado. De qualquer modo é sempre insuficiente usar a fracção solar anual como critério único de dimensionamento;
- Rendimento do sistema – trata-se da razão entre a energia de origem solar fornecida para consumo e a disponível à face dos colectores (“Fornecido” / [“Radiação Inclinada” x “área do painel”] em valores anuais). É portanto uma medida da eficácia do sistema solar em transferir energia da radiação solar para a carga. Embora não seja um dos índices habitualmente apresentados, é uma indicação interessante como guia para dimensionamentos, porque é menos dependente dos detalhes do consumo, e em particular menos do nível de recurso solar, do que a fracção solar ou a produtividade. Um sistema bem dimensionado terá tipicamente rendimentos entre 20% e 60%, conforme as características da carga térmica;

- Produtividade – trata-se de uma energia específica, a energia de origem solar fornecida para consumo por unidade de área dos colectores (“Fornecido”/ “área do painel” em valores anuais). Este índice é apresentado frequentemente, contudo é muito dependente dos detalhes do consumo, e em particular do nível de recurso solar. Valores muito baixos, digamos abaixo de 200 kWh/m<sup>2</sup>, indicam de facto quase sempre um dimensionamento incorrecto; contudo valores elevados não são garantia de um bom dimensionamento – pois é possível obter uma elevada produtividade subdimensionando o painel e sobredimensionando o armazenamento. A principal utilidade deste índice é pois a comparação entre soluções diversas para um mesmo sistema (diferentes equipamentos propostos para um mesmo local e consumo).

A Figura 50 apresenta os resultados obtidos para as características do Sistema Solar definido.

Caldas da Rainha						
Desempenho do sistema térmico				Projecto: AE OPTIMIZADA		
	Rad.Horiz.	Rad.Inclin.	Desperdiçado	Fornecido	Carga	Apoio
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	60	81	,	177	324	147
Fevereiro	77	98	,	202	293	91
Março	115	134	,	242	324	83
Abril	152	161	9,	262	314	52
Maio	189	183	11,	289	324	35
Junho	195	181	19,	286	314	28
Julho	215	202	28,	312	324	13
Agosto	197	202	34,	314	324	10
Setembro	140	158	11,	284	314	30
Outubro	105	132	3,	257	324	68
Novembro	69	92	,	201	314	113
Dezembro	57	70	,	160	324	165
Anual	1572	1695	116,	2985	3820	834
Rendimento global anual do sistema: 29%				Fracção solar: 78,2%		
				Produtividade: 498 kWh/[m <sup>2</sup> colector]		

**Figura 50:** Análise Energética para o Sistema Solar definido.

Com as condições solares verificadas para o edifício, concluiu-se que o contributo dos colectores para a fracção seria de 2985kWh por ano, representando desta forma cerca de 78% das necessidades energéticas para aquecimento de águas sanitárias (Energia dispendida com sistemas convencionais = 3820,64kWh por ano). Obviamente, tal influência reflectir-se-á nas necessidades de energia primária por parte da habitação, conforme é apresentado na Tabela 28.

**Tabela 28:** Necessidades nominais de energia com sistema solar.

Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nv (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Na (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
81,12	80,38	22,00	5,23	39,71	11,25
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	2,17		6,29		Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)

A utilização de colectores solares possibilitou uma diminuição expressiva das necessidades de energia para a preparação de AQS (Nac=11,25kWh/m<sup>2</sup>.ano), com impacto nas necessidades nominais globais de energia primária, definindo por isso a fracção autónoma como classe de desempenho energético do tipo A (Ntc/Nt=34,50%). Esta colocação de colectores solares térmicos traduz-se numa redução de 20kWh/m<sup>2</sup>.ano das necessidades de energia para preparação de AQS quando comparado com o caso de referência sem colectores. Na Figura 51 está representada a etiqueta energética para a fracção autónoma com AQS e colectores solares.



Figura 51: Etiqueta energética com AQS.

## 5. SISTEMAS ENERGÉTICOS ALTERNATIVOS

### 5.1. EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS

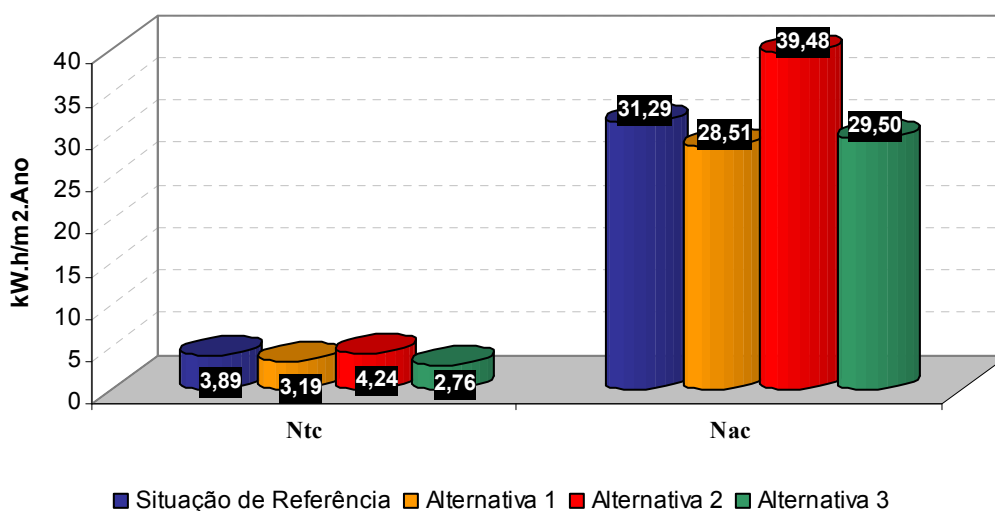
Foram criadas diferentes soluções alternativas ao caso de estudo, de modo a obter um sistema energético eficiente, económico e “amigo” do ambiente. Para tal, foram estudadas soluções de equipamentos com diferentes eficiências e tipos de energia (Tabela 29).

**Tabela 29:** Diferentes equipamentos de climatização e AQS estudados.

	Situação de Referência	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Aquecimento	Caldeira a combustível sólido ( $\eta_i=0,6$ )	Resistência Eléctrica ( $\eta_i=1$ )	Caldeira a Gás ( $\eta_i=0,87$ )	Bomba de Calor ( $\eta_i=4$ )
Arrefecimento	Bomba de Calor ( $\eta_v=3$ )	Máquina Frigorífica COP ( $\eta_v=3$ )	Máquina Frigorífica COP ( $\eta_v=3$ )	Bomba de Calor COP ( $\eta_v=3$ )
Produção de AQS	Caldeira Mural com isolamento térmico de 50 a 100mm ( $\eta_a=0,82$ )	Termoacumulador eléctrico com isolamento de 50mm ( $\eta_a=0,90$ )	Caldeira Mural com isolamento térmico <50mm ( $\eta_a=0,65$ )	Caldeira Mural com isolamento térmico de 100mm ( $\eta_a=0,87$ )

#### 5.1.1. Análise Energética

Foi simulado o desempenho energético para os diferentes equipamentos de climatização e de AQS, para a fracção autónoma verificando os requisitos regulamentares. Os resultados obtidos estão ilustrados na Figura 52.



**Figura 52:** Análise energética às necessidades nominais anuais.

As diferentes eficiências dos equipamentos influenciam as necessidades nominais de energia, como se verifica pela Figura, resultando em necessidades nominais globais de energia primárias distintas. Para a produção de AQS o equipamento de maior eficiência é o que obtém o valor de  $N_{ac}$  mais baixo, sendo neste caso o termoacumulador eléctrico referente à Alternativa 1 ( $28,51 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ ). Em termos energéticos a Alternativa 3 é a mais favorável, visto que possui o melhor desempenho energético ( $N_{tc}=2.76 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$ ), com uma classe de desempenho A (Tabela 30), o que se deve à elevada eficiência das bombas de calor e da caldeira mural com isolamento térmico de 100mm.

**Tabela 30:** Necessidades nominais globais de energia primária das diferentes alternativas,

	Situação de Referência	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
$N_{tc}$ ( $\text{kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$ )	3,89	3,19	4,24	2,76
Classe Energética	B	B	B	A

### 5.1.2. Análise Económica

De acordo com os preços obtidos para os diferentes equipamentos (Tabela 31), foi feita uma análise económica para as alternativas estudadas (foram utilizados preços médios aproximados fornecidos pelos fabricantes/revendedores das marcas). Para tal, foi necessário alcançar uma fórmula que relacionasse os valores de energia globais, tendo em consideração as eficiências dos equipamentos e o preço do tipo de energia consumido.

**Tabela 31:** Preços dos equipamentos de climatização e AQS.

Equipamento		Custo médio aproximado	Fabricante / Revendedor
Caldeiras a Gás (Aquecimento e AQS)	Caldeira Mural com isolamento térmico <50mm	1000€	Baxi Roca
	Caldeira Mural com isolamento térmico de 100mm	2400€	
	Caldeira Mural com isolamento térmico de 50 a 100mm	1800€	
Termoacumulador eléctrico		150€	Megaclima
Bomba de calor	Aquecimento ou Arrefecimento	2000€	Climaporto
	Aquecimento e Arrefecimento	3500€	
Resistência Eléctrica		300€	Ventilnorte
Máquina frigorífica		2500€	Chatron
Caldeira a Combustível Sólido		650€	Baxi Roca
Caldeira a Gás		1800€	Junkers



Deste modo, a partir das necessidades de aquecimento, arrefecimento e de preparação de AQS, foram calculadas as Necessidades Globais Nominais de Energia Útil para a fracção autónoma (kWh/m<sup>2</sup>.ano). Foi utilizada a expressão das necessidades nominais globais de energia primária adaptada para valores de energia útil, isto é, sem os factores de conversão, empregando os factores de ponderação das necessidades de aquecimento, arrefecimento e de preparação de AQS tendo em conta os padrões habituais de utilização dos respectivos sistemas. A fórmula alcançada é a seguinte:

$$\text{Energia Global Nominal de Energia Útil} = 0,1 \cdot \left( \frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) + 0,1 \cdot \left( \frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) + N_{ac} \quad (5.1)$$

**[kWh/m<sup>2</sup>.ano]**

Como os diferentes equipamentos são alimentados por diferentes tipos de energia, acrescentaram-se à expressão os preços energéticos para cada sistema ( $P_e$  - €/kWh), obtendo-se o custo total das necessidades globais nominais de energia útil ( $C_{TOTAL}$ ):

$$C_{TOTAL} = 0,1 \cdot \left( \frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) \cdot P_{ei} + 0,1 \cdot \left( \frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) \cdot P_{ev} + N_{ac} \cdot P_{ea} \quad (5.2)$$

**[€/m<sup>2</sup>.ano]**

A partir do custo total das necessidades globais nominais de energia útil, obteve-se o custo da factura energética anual:

$$\text{Factura Energética Anual} = C_{TOTAL} \cdot \text{Área Útil de Pavimento} \quad (5.3)$$

**[€/ano]**

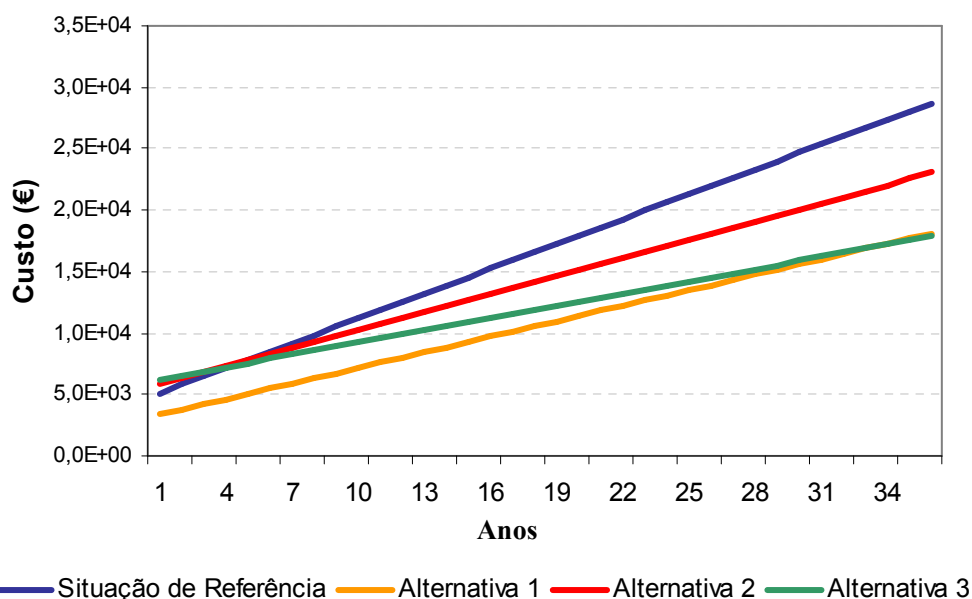
Na Tabela 32 é demonstrada a análise económica realizada, onde se inclui o investimento inicial para cada alternativa e o custo da factura energética anual e mensal.

**Tabela 32:** Análise Económica às alternativas estudadas.

	Situação de Referência	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Investimento Inicial	4450€	2950€	5300€	5900€
Factura Energética	673,89€/Ano	421,77€/Ano	492,87€/Ano	332,56€/Ano
	56€/Mês	35€/Mês	41€/Mês	28€/Mês

**NOTA:** Preço electricidade: 0,1104€/kWh; Preço Gás Natural: 0,067549€/kWh; Preço Biomassa: 0,1786€/kWh (ERSE, 2008).

É de notar que todas as alternativas avaliadas seriam mais vantajosas que a utilizada como referência na fracção autónoma. Tal facto deve-se essencialmente ao uso de uma caldeira a lenha para aquecimento que, apesar de ter um investimento razoável, tem elevados custos com o combustível anualmente, tornando esta alternativa pouco atractiva. Inicialmente, a Alternativa 1 é a que aparenta ser mais vantajosa economicamente, uma vez que tem um investimento inicial muito baixo (2950€), com um custo mensal de 35€. No entanto, a alternativa 3 com um investimento de 5900€, apresenta um custo mensal de 28€, tornar-se-ia mais rentável que a 1ª ao fim de 33 anos, devido à maior poupança com o custo da factura energética (Figura 53).



**Figura 53:** Custo de cada alternativa ao longo de um período de tempo.

### 5.1.3. Análise Ambiental

As emissões de CO<sub>2</sub> equivalente traduzem a quantidade anual estimada de gases de efeito de estufa que podem ser libertados em resultado da conversão de uma quantidade de energia primária igual às respectivas necessidades anuais globais estimadas para um edifício, usando o factor de conversão de 0.0012 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por kgep (ADENE). Uma vez que as diferentes alternativas possuem necessidades nominais globais de energia primária distintas, as emissões de CO<sub>2</sub> serão maiores para as soluções menos eficientes. Sabendo que ao CO<sub>2</sub> está associado um valor de mercado, foi estimado o custo do poluente por Ano para as diversas soluções (Tabela 33).

**Tabela 33:** Emissão e custo de CO<sub>2</sub> para as diferentes alternativas.

	Situação de Referência	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .Ano)	3,89	3,19	4,24	2,76
CO <sub>2</sub> (ton <sub>eq</sub> /Ano)	0,70	0,57	0,76	0,49
CO <sub>2</sub> (€/Ano)	17	14	19	12

**NOTA:** Valor de mercado do CO<sub>2</sub> no dia 22 de Agosto de 2008: 24,55€/ton (PointCarbon).

Como era de esperar, quanto maior a eficiência energética menores são as emissões de CO<sub>2</sub> e por isso menor o custo associado. As emissões de CO<sub>2</sub> ainda não se reflectem no custo de aquisição das moradias, como acontece no sector automóvel, no entanto a necessidade de

redução das emissões para combater as alterações climáticas faz subir o preço da electricidade, que se traduz no aumento da factura energética para o consumidor final. A Alternativa 3 é a menos poluente, emitindo  $0,49\text{ton}_{\text{eq}}\text{CO}_2$  por ano, o equivalente a 12€/ano. Para o caso de estudo, estes valores ascendem para  $0,7\text{ton}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{ano}$ , isto é, 17€/ano.

#### 5.1.4. Alternativa mais vantajosa

Analisando as diferentes alternativas em termos energéticos, económicos e ambientais a Alternativa 3 é a mais vantajosa. Apesar de ser necessário um investimento inicial alto (5900€), esta solução ganha vantagem devido à elevada eficiência dos equipamentos de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias, à maior poupança com a factura energética (28€/mês), e ainda devido à menor emissão de  $\text{CO}_2$  ( $0,49\text{ton}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{ano}$ ), como demonstra a Figura 54.

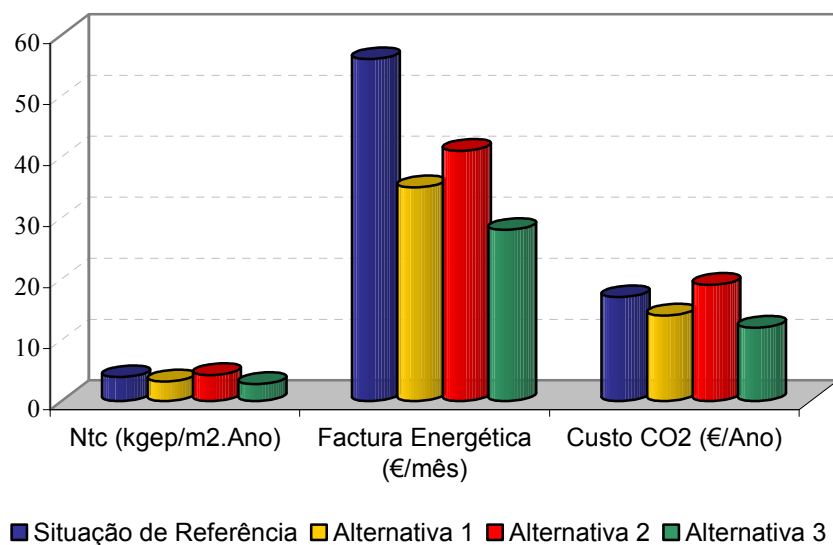


Figura 54: Análise às diferentes alternativas.

## 5.2. SISTEMAS SOLARES

Em alternativa ao sistema solar definido anteriormente foram testadas diferentes soluções utilizando o SolTerm: painéis solares com maiores e menores eficiências e áreas; diferentes volumes do depósito de armazenamento; e diferentes sistemas de apoio.

Foram ensaiadas as seguintes alternativas:

1. Solar 1: utiliza 3 colectores Baxi Roca PS 2.0 ( $\eta_0 = 0,76$ ), com um depósito com um volume de armazenamento de 300l e com um sistema de apoio eléctrico;
2. Solar 2: utiliza 2 colectores SchücoSol S ( $\eta_0 = 0,78$ ), com um depósito com um volume de armazenamento de 200l e com um sistema de apoio a gás butano;
3. Solar 3: utiliza 3 colectores Weishaupt WTS F1 K4 ( $\eta_0 = 0,83$ ), com um depósito com um volume de armazenamento de 100l e com um sistema de apoio a gás natural;
4. Solar 4: utiliza 3 colectores Solar2S VTC 20 HP ( $\eta_0 = 0,73$ ), com um depósito com um volume de armazenamento de 250l e com um sistema de apoio a gasóleo;

5. Solar 5: utiliza 3 colectores KF Collector Solahart ( $\eta_0 = 0,80$ ), com um depósito com um volume de armazenamento de 150l e com um sistema de apoio a gás propano.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 34, que demonstra as diferentes Energias fornecidas pelas diferentes alternativas, o Valor Actual líquido (VAL), o período de retorno do investimento, as necessidades nominais globais de energia primária e os benefícios ambientais (consumo energético de origem fóssil e emissões de CO<sub>2</sub>).

**Tabela 34:** Análise Energética e Económica de diferentes painéis solares para preparação de AQS.

	Situação de Referência	Baxi Roca PS 2.0	SchücoSol S	Weishaupt WTS F1 K4	Solar2S VTC 20 HP	KF Collector Solahart
Energia Fornecida (kWh)	2985	3283	2960	2487	3464	2923
Investimento Inicial (€)	4800	4632	4101	5367	4529	4506
VAL (€)	- 1353	- 777	3010	-3761	-3224	1425
Payback (Anos)	-	-	13	-	-	16
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	2,17	2,00	2,18	2,03	1,89	2,21
Classe Energética	A	A	A	A	A	A
Consumo Energia Fóssil evitado (kWh/ano)	3,98	5,85	3,95	3,32	4,62	3,9
Emissões CO <sub>2</sub> evitadas (ton <sub>eq</sub> /ano)	0,948	2633,3	0,925	0,790	1,2	0,9

Energeticamente, todas as soluções melhoram claramente o desempenho energético da moradia, já que as necessidades de energia para preparação de AQS diminuí significativamente, reduzindo as necessidades nominais globais de energia primária, convertendo, em todos os casos, a fracção autónoma numa classe energética do tipo A.

Apesar de as opções Solar 1 e Solar 4 serem as que fornecem mais energia ao sistema, 3283 e 3464kWh, apenas as alternativas Solar 2 e 5 são viáveis em termos financeiros, com um payback de 13 e 16 anos, e um VAL de 3010 e 1425€, respectivamente. A solução Solar 3, que utiliza gás natural, é a ambientalmente menos favorável, permitindo evitar cerca de 0,8ton<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>/ano, devendo-se essencialmente à menor quantidade de energia fornecida ao sistema, o que implica a necessidade de ter uma energia de apoio superior. Os benefícios ambientais das alternativas viáveis, Solar 2 e Solar 5, são bastante semelhantes, evitando um consumo de energia fóssil anual de 3,95 e 3,9kWh/ano, respectivamente, o que representa cerca de 0,9 toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas por ano. Infelizmente para este caso de estudo o sistema solar com apoio eléctrico não é viável financeiramente, uma vez que ambientalmente seria uma solução notável como demonstra a opção solar 1, já que evitava a emissão de 2633,3 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.

Através dos resultados obtidos, verifica-se que um sistema solar para ser viável financeiramente depende fundamentalmente do sistema de apoio devido ao preço das diferentes energias, por isso a selecção de gás propano ou butano traduz-se em menores custos energéticos e logo numa maior rentabilidade. Ainda se verificou que quanto maior for o depósito de armazenamento, maior é a energia fornecida ao sistema, já que permite a diminuição da energia desaproveitada devido ao maior armazenamento de água, uma vez que diminui o desperdício de energia captada que não seria aproveitada em virtude de esta exceder as necessidades de consumo. O rendimento do sistema de apoio, em virtude do poder calorífico do seu combustível, e a quantidade de energia fornecida ao sistema determinam os impactos ambientais evitados.

### 5.3. ISOLAMENTO TÉRMICO

Um isolamento térmico adequado dos edifícios é um dos principais meios para minimizar as perdas de energia e aumentar o conforto no interior dos espaços climatizados.

Os principais factores de avaliação dos diversos materiais usados para isolamento térmico são as propriedades físicas, as propriedades químicas, o preço e a facilidade de aplicação. Alguns dos materiais mais utilizados são os seguintes:

- EPS – Poliestireno Expandido;
- XPS – Poliestireno Extrudido;
- MW – Lã mineral (Rocha, Vidro);
- Cortiça Expandida.

Foram ensaiados diferentes materiais de isolamento para minimizar as perdas associadas à envolvente exterior, revestindo as paredes simples da fachada pelo interior ou pelo exterior, de modo a que verificassem os requisitos mínimos regulamentares impostos pelo RCCTE, em alternativa à situação inicial. Também foi realizado um levantamento do investimento necessário à aquisição do isolante.

Nas Tabelas 35 e 36 são demonstrados os isolantes testados com as espessuras necessárias de isolamento para que obtenha um coeficiente de transmissão térmica suficientemente baixo para que  $Nic < Ni$ , e o seu preço, com o qual se estimou o investimento necessário para a sua aplicação na moradia, pelo interior ou pelo exterior.

**Tabela 35:** Análise Energética e Económica do Isolamento Térmico pelo Exterior.

Material de Isolamento (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura do Isolamento (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Preço €/m <sup>2</sup>	Investimento €	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
EPS (15)	0,80	0,040	0,37	4,82	540 sotecnisol	80,38	81,12
Lã de Rocha (140)	0,80	0,042	0,38	15,91	1782 sotecnisol	80,65	

**Tabela 36:** Análise Energética e Económica do Isolamento Térmico pelo Interior.

Material de Isolamento (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura do Isolamento (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Preço €/m <sup>2</sup>	Investimento €	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
EPS (13)	0,80	0,042	0,37	3,62	405 sotecnisol	80,38	
XPS (30)	0,80	0,037	0,34	6,4	717 Isosfer	79,58	
Lã de Rocha (55)	0,80	0,04	0,36	8,33	933 sotecnisol	80,11	81,12
Cortiça Expandida	0,80	0,045	0,39	9,27	1038 Amorim	80,92	

Nos resultados obtidos, verifica-se que o isolamento pelo interior é normalmente mais económico que o isolamento pelo exterior (comparando os mesmos materiais). Uma vez que energeticamente não há diferenças significativas, a aplicação de 80mm de EPS pelo interior, com um custo de 3.62€/m<sup>2</sup> é a mais atractiva, com um investimento de 405€.

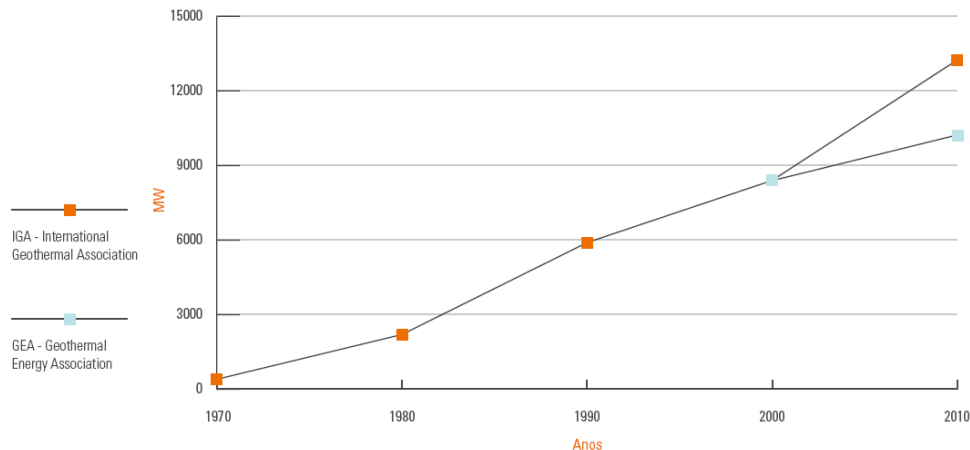
## 5.4. ENERGIA GEOTÉRMICA

Geotermia é um termo usado para designar a área do conhecimento que investiga e desenvolve metodologias de exploração do calor interno da Terra. As potencialidades são enormes dado que 99% da massa do planeta se encontra a uma temperatura superior a 1000°C. A temperatura é no entanto mais baixa na camada mais superficial do planeta (crusta) e aumenta em profundidade de forma progressiva, segundo um gradiente designado por geotérmico. Devido à heterogeneidade da crosta terrestre, o gradiente geotérmico pode ser muito variável, sendo as zonas onde este é mais elevado aquelas que mais interessam à geotermia.

As regiões do globo onde existe vulcanismo activo, ou seja, onde é frequente ocorrerem massas magmáticas a pequena profundidade, são zonas de elevado potencial geotérmico. A percolação da água da chuva nas rochas quentes gera vapor que ascende à superfície, transferindo, assim, o calor da rocha, o qual poderá vir a ser aproveitado para gerar energia eléctrica através do uso de tecnologia adequada. Este tipo de geotermia, designada de alta entalpia, há mais de um século que é empregada. A utilização de fontes de energia geotérmica tem vindo a crescer nos últimos anos, estimando-se que, em 2010, possa estar instalada uma potência variável entre 10000 e 13800MW (Figura 55).

Em Portugal esta tecnologia tem apenas aproveitamento no arquipélago dos Açores. É importante realçar que as necessidades de energia eléctrica da Ilha de S. Miguel são supridas em cerca de 40% por este tipo de energia e que está prevista a instalação de uma unidade de produção de 12MW na ilha Terceira em 2009. A geotermia deste tipo, também designada de convencional, tem, no entanto, uma aplicação geográfica limitada, uma vez que os locais do globo passíveis de aproveitamento se restringem às zonas de vulcanismo activo.

No caso em que a temperatura do fluido é mais baixa (<150°C) é possível a sua utilização em aquecimento, como é o caso da balneoterapia, praticada há longos anos em Portugal. Este tipo de geotermia corresponde a um aproveitamento de baixa entalpia. Mais recentemente, começaram a tornar-se populares as designadas bombas de calor, sistemas que permitem a climatização de edifícios. Obviamente que este tipo de sistemas geotérmicos tem uma mais vasta aplicação do que os sistemas de alta entalpia, mas as temperaturas dos fluidos não são, em geral, suficientes para produzir energia eléctrica de forma economicamente viável (Pereira & Luís, 2008).



**Figura 55:** Capacidade instalada de energia geotérmica e previsão das tendências futuras (Pereira & Luís, 2008).

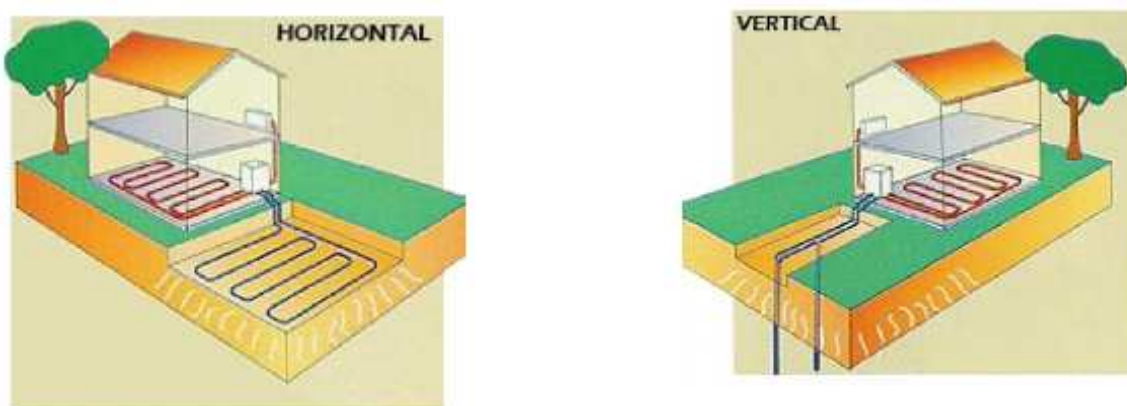
#### 5.4.1. Descrição da Tecnologia

A climatização através de geotermia oferece um grande conforto. Pode funcionar com os sistemas de aquecimento tradicionais como radiadores, ventilo-convectores e piso radiante. Além disso, pode ainda aquecer água para uso doméstico e/ ou piscinas. A uma profundidade próxima dos 60cm a temperatura é praticamente constante durante todo o ano pelo que existe garantia de funcionamento do sistema, independentemente das condições climáticas exteriores.

O sistema geotérmico recorre, basicamente, a três componentes:

- Bomba de calor que se encontra dentro do gerador. Tem como função complementar o aquecimento/ arrefecimento da habitação;
- Captor exterior instalado no solo. É um tubo onde circula água ou gás que tem como função captar a energia do terreno e transmiti-la ao gerador;
- Sistema de emissão de calor no interior da habitação através de radiadores, ventilo-convectores ou piso radiante.

A captação pode ser feita de diversos modos, sendo o mais comum a captação horizontal ou vertical (Figura 56). A Captação horizontal necessita de uma área para instalar os tubos 1,2 a 1,5 vezes superior à área a climatizar. Por exemplo, para climatizar uma habitação de 100m<sup>2</sup> é necessário um terreno com pelo menos 120m<sup>2</sup>. A Captação vertical exige furos com profundidade mínima de 25 metros (ENAT).

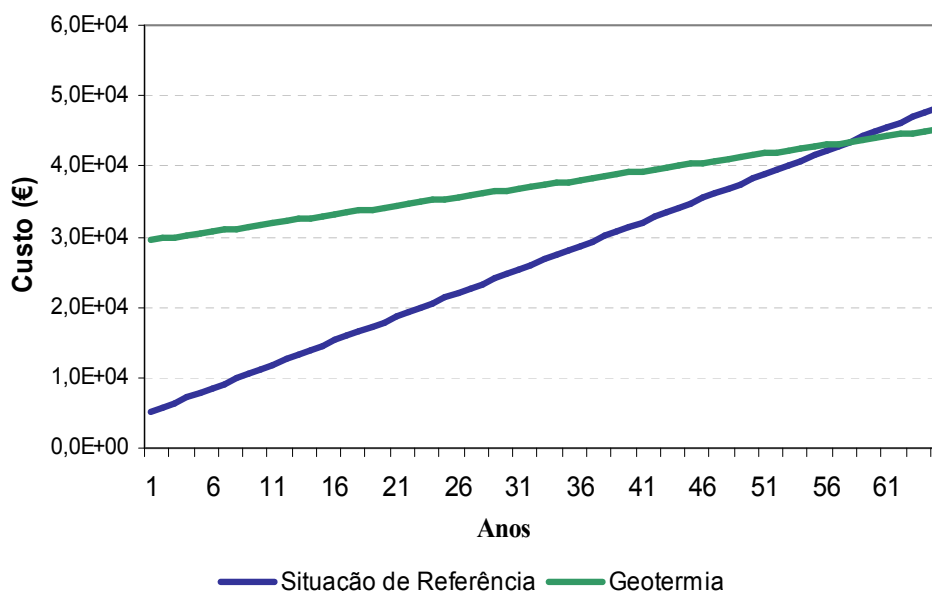


**Figura 56:** Tipos de Captação da Energia Geotérmica.

### 5.4.2. Aplicação ao Caso de Estudo

Foi feito um pedido de orçamento à empresa GudEnergy para uma solução geotérmica para aquecimento central e aquecimento de águas sanitárias para a moradia em estudo. Uma vez que a habitação não possui terreno com uma área suficiente para geotermia horizontal, foi feita uma proposta de geotermia vertical. O orçamento solicitado prevê o aquecimento por ventilo-convectores (Anexo A.2). O preço montado sem IVA é de 29211,04€ e antevê um valor anual estimado de consumo do aquecimento central de 167,08€ e do consumo de águas quentes sanitárias de 79,38€ (total de 246,46€/Ano).

Relembrando que para a situação de referência com caldeira mural, sem colectores solares, para aquecimento de águas sanitárias, bomba de calor para arrefecimento e caldeira a combustível sólido para aquecimento, o investimento inicial era de 4450€ e com um consumo anual estimado de 673,89€, a aplicação da solução geotérmica proposta permitiria um gasto anual inferior de cerca de 427,43€, ou seja, 36€/mês. Analisando o custo anual com o consumo energético ao longo de um período de tempo, somado ao investimento inicial, (desprezando os custos com a manutenção), verificamos que esta solução só seria economicamente mais vantajosa que a de referência ao fim de 58 anos (Figura 57), sendo por isso indesejável para qualquer investidor.



**Figura 57:** Custo ao longo de um período de 65 anos para a situação de referência e a solução geotérmica.



## 6. MICROGERAÇÃO

A microgeração consiste na produção descentralizada de energia em pequenas potências. O novo DL 363/2007 toma o processo simples e com condições atractivas de rentabilização do investimento para particulares e empresas, permitindo transformar cada kW produzido em dinheiro.

Os problemas ambientais e o custo da energia com origem nos combustíveis fósseis têm apelado à urgência na utilização das energias renováveis como fonte primária de energia, privilegiando-se a produção descentralizada para auto-consumo. A vantagem inestimável da Microgeração é a redução das emissões de gases com efeito de estufa, já que toda a energia produzida a partir de fontes renováveis não emite CO<sub>2</sub> (IsKandar, 2008).

Segundo a Legislação publicada recentemente (Decreto-Lei 363/2007 de 2 de Novembro), a energia eléctrica produzida por intermédio de instalações de pequena potência (microprodução) deverá ser vendida na totalidade ao comercializador para ser economicamente viável, valorizando essa energia entre 4 a 6 vezes mais do que a consumisse directamente na instalação, permitindo a recuperação do investimento inicial em tempo útil.

Os produtores têm acesso a dois regimes remuneratórios, Geral e Bonificado. A Tabela 37 demonstra as principais diferenças entre ambos os regimes.

**Tabela 37:** Principais diferenças entre o Regime Geral e o Regime Bonificado.

Regime	Potência Máxima (kW)	Tarifa €/kWh	Outras disposições
Geral	5,75	Igual ao custo aplicável pelo comercializador	Não aplicável em condomínios
Bonificado	3,68	Solar: 0,65 Eólica: 0,455	Obrigatório possuir colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo, com um mínimo de 2m <sup>2</sup> de área de colector

### 6.1. ENERGIA EÓLICA

A energia do vento pode ser captada para a produção de energia eléctrica, por turbinas eólicas que fazem essa transformação através de um gerador. Desde a antiguidade que a energia do vento é aproveitada pelo Homem, sendo que as primeiras utilizações se deram para mover moinhos e navios à vela. A elevada velocidade e quantidade de horas de vento existentes em muitas zonas de Portugal são muito favoráveis ao aproveitamento da energia que o vento nos oferece.

### 6.1.1. Descrição da Tecnologia

As turbinas eólicas, também conhecidas por aerogeradores, têm como função transformar a energia cinética do vento em energia mecânica e consequentemente em energia eléctrica. Uma turbina eólica compõe-se dos seguintes elementos:

- Uma torre, que permite elevar a turbina eólica até ventos mais regulares na camada limite atmosférica;
- Uma nave ou nacelle que contém o sistema mecânico;
- $Q_{gu} = \eta \cdot Q_g$  Um veio que permite a rotação das pás e transmite a energia mecânica ao gerador eléctrico;
- As pás, que permitem “absorver” a energia cinética do vento.

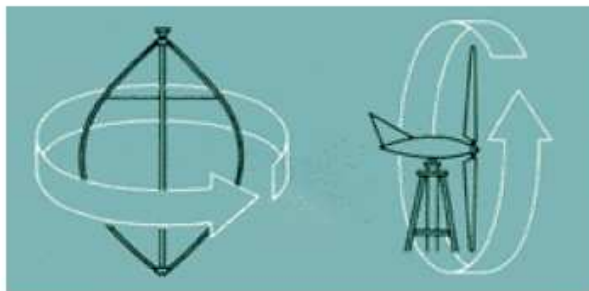
O vento é definido essencialmente por dois parâmetros: **velocidade** e **direcção**. A sua intensidade não é regular e a sua disponibilidade depende do local. Como tal, antes de cada instalação, medições dos parâmetros do vento têm que ser efectuadas, assim como um estudo do **relevo** do local. Quanto menores forem as alterações do relevo, menores serão as barreiras físicas e assim melhor será a regularidade do vento. Esta é a razão pela qual, hoje em dia se estão a desenvolver parques eólicos em “offshore”.

Uma turbina eólica não permite transformar a totalidade da energia do vento em energia útil. A potência recuperável por uma turbina eólica é função da velocidade do vento ao cubo, valor denominado por **limite de Betz ( $W/m^2$ )**:

$$P = 0,37.v^3$$

sendo que  $P$  é a potência recuperável e  $v$  a velocidade do vento (CEEETA, 2002).

Nem todas as turbinas eólicas são iguais, contudo existe actualmente uma certa convergência para as turbinas eólicas com um eixo horizontal e três pás. Os dois grandes tipos de turbinas eólicas são as de **eixo vertical** e as de **eixo horizontal** (Figura 58).



**Figura 58:** Turbinas eólicas de eixo vertical (Esq.) e de eixo horizontal (dir.) (CEEETA, 2002).

### 6.1.2. Aplicação ao Caso de Estudo

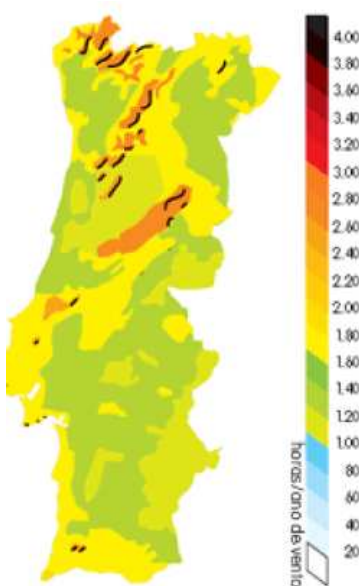
Para instalação de uma micro-eólica deve ser realizado um estudo prévio sobre a existência de correntes de direcções variáveis, e das velocidades locais de modo a avaliar a viabilidade da localização.

Admitindo que a moradia cumpre os requisitos necessários à instalação desta tecnologia procedeu-se ao estudo da viabilidade de instalação de uma solução micro-eólica. Para tal foi efectuado um levantamento dos custos típicos de aquisição e instalação de uma micro-eólica (Tabela 38).

**Tabela 38:** Custos típicos de aquisição e instalação de uma micro-eólica.

Empresa	Instalação (€)	Equipamento (€/kW)
CAPA	1000 - 2000	2033
EFACEC	2900	4856
Net Plan	1850 – 2195	2286 – 5730
Self Energy	600 – 1050	2234 – 3005

De acordo com dados publicados pela EDP, estima-se que a produção anual de energia para as Caldas da Rainha seja cerca de 1800 horas por ano (Figura 59). Desta forma para um sistema de 5,75kW produz-se 10350kWh/Ano ( $5,75\text{kW} \times 1800\text{h/Ano}$ ), o que traduz em 1142,64€/Ano (tarifa da EDP: 0,1104€/kWh). Para um sistema de 3,68kW produz-se 6624kWh/Ano, que rende 3013,92€/Ano (tarifa do regime bonificado: 0,455€/kWh). Numa primeira análise, verifica-se que no regime geral apesar de haver uma maior produção de energia anualmente, o resultado líquido anual é bastante inferior, devido à diferença das tarifas.

**Figura 59:** Número de horas de vento por ano no Continente (EDP, 2008).

Com os valores obtidos, calculou-se o retorno do investimento para os diferentes regimes e empresas. É importante relembrar que para o regime bonificado é necessário instalar painéis solares, e por isso somou-se ao investimento inicial o custo da instalação do sistema solar térmico adoptado para o caso de estudo e apresentado na Tabela 32. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 39.

**Tabela 39:** Estudo da viabilidade financeira para diferentes soluções de micro-eólica.

Regime	Empresa	Investimento Inicial (€)	Energia Vendida (€/Ano)	Retorno do Investimento (Anos)
Geral (5,75 kW)	CAPA	13189,75	1142,64	12
	EFACEC	30822		27
	Net Plan	25068,5		22
	Self Energy	15887,125		14
Geral (3,68 kW)	CAPA	8981,44	731,29	12
	EFACEC	20770,08		28
	Net Plan	16771,94		23
	Self Energy	10464,76		14
Bonificado (3,68 kW)	CAPA	13781,44	3013,9	5
	EFACEC	25570,08		8
	Net Plan	21571,94		7
	Self Energy	15264,76		5
Bonificado (2 kW)	CAPA	10366	1638	6
	EFACEC	17412		11
	Net Plan	14838,5		9
	Self Energy	10864		7

**NOTA:** Para o investimento inicial foram adoptados custos médios dos valores fornecidos pelas diferentes entidades. O total é igual ao somatório entre o custo do equipamento e a sua instalação (Foram desprezados os custos com manutenção).

Através dos resultados obtidos constata-se a vantagem do regime bonificado relativamente ao geral, resultados da elevada tarifa de venda da electricidade, apesar do investimento num sistema solar térmico. Também se verificou que, apesar de ter um custo superior, para potências maiores os períodos de retorno de investimento são mais favoráveis, sendo essa diferença mais notória para o regime bonificado, variando entre os 5 e 8 anos, mostrando-se por isso não como uma alternativa (visto que toda a energia é vendida à rede, mantendo-se dessa forma o sistema já existente para consumo) mas como um bom investimento. Para o regime geral o retorno do investimento varia entre os 12 e os 28 anos, e para o bonificado varia entre os 5 e os 11 anos

## 6.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA

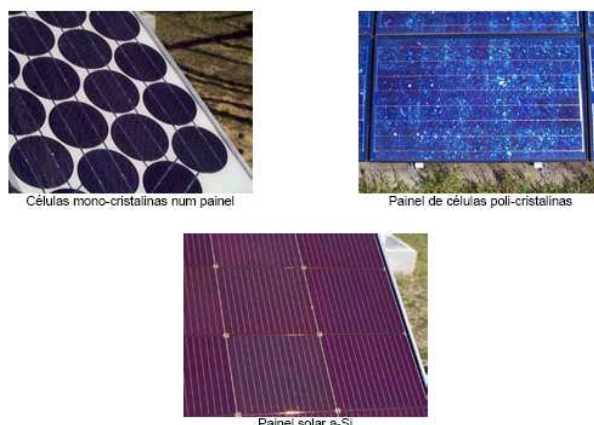
### 6.2.1. Descrição da Tecnologia

A função de uma célula solar consiste em converter directamente a energia solar em electricidade. A forma mais comum das células solares o fazerem é através do efeito fotovoltaico.

Existem três tipos principais de células solares (Figura 60) (CEEETA, 2002):

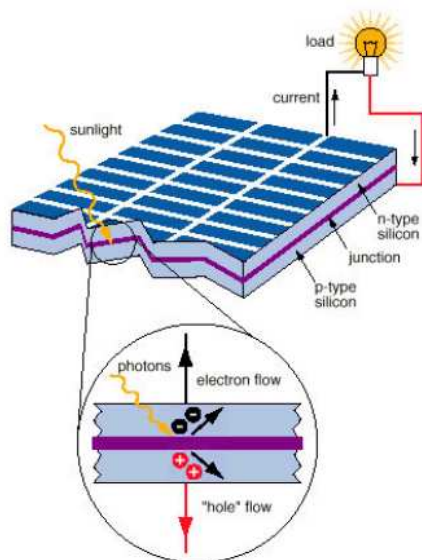
- **As células mono-cristalinas** representam a primeira geração. O seu rendimento eléctrico é relativamente elevado (aproximadamente 16%, podendo subir até cerca de 23% em laboratório), mas as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e caras. Por outro lado, é necessária uma grande quantidade de energia no seu fabrico, devido à exigência de utilizar materiais em estado muito puro e com uma estrutura de cristal perfeita;
- **As células poli-cristalinas** têm um custo de produção inferior por necessitarem de menos energia no seu fabrico, mas apresentam um rendimento eléctrico inferior (entre 11% e 13%, obtendo-se até 18% em laboratório). Esta redução de rendimento é causada pela imperfeição do cristal, devido ao sistema de fabrico;

- **As células de silício amorfo** são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento eléctrico é também o mais reduzido (aproximadamente 8% a 10%, ou 13% em laboratório). As células de silício amorfo são películas muito finas, o que permite serem utilizadas como material de construção, tirando ainda o proveito energético.



**Figura 60:** Principais tipos de células fotovoltaicas (CEEETA, 2002).

A conversão directa da radiação solar em electricidade consegue-se em materiais semicondutores, com campos eléctricos internos capazes de acelerar os pares electrão-lacuna criados por incidência dos fotões solares de forma a gerar uma corrente eléctrica que alimenta um circuito eléctrico exterior (Figura 61).



**Figura 61:** Conversão directa da radiação solar em electricidade (CEEETA, 2002).

Uma célula individual, unidade de base dum sistema fotovoltaico, produz apenas uma reduzida potência eléctrica, o que tipicamente varia entre 1 e 3W, com uma tensão menor que 1 Volt. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas, formando um módulo (ou painel). Ligações em série de várias células aumentam a tensão disponibilizada, enquanto que ligações em paralelo permitem aumentar a corrente eléctrica. A maioria dos módulos comercializados é composta por 36 células de silício cristalino, conectadas em série, para aplicações de 12V. Quanto maior for o módulo, maior será a potência e/ou a corrente disponível (Figura 62).



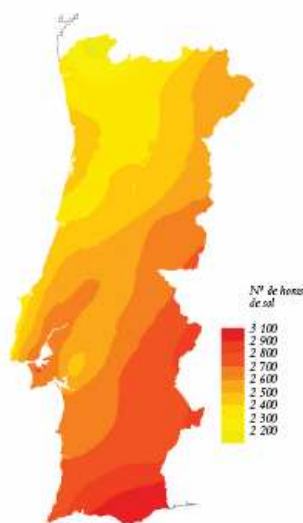
**Figura 62:** Painéis solares fotovoltaicos.

Encontram-se, geralmente, 3 tipos de painéis solares (CEEETA, 2002):

- Painéis de baixa voltagem / baixa potência feito de 3 até 12 pequenos segmentos de silício amorfo, com uma superfície total de alguns centímetros quadrados. A voltagem encontra-se entre 1,5 e 6V, e a potência é de alguns miliwatts. O uso de este tipo de módulos é frequente em relógios, calculadoras, etc.;
- Pequenos painéis de 1-10W e 3-12V. A utilização principal destes módulos é feita em rádios, jogos, pequenas bombas de água, etc.;
- Grandes painéis de 10 até 60W, com uma tensão de 6 ou 12V. A utilização principal é feita essencialmente em grandes bombas de água, para responder às necessidades de electricidade de habitações (luz e refrigeração).

### 6.2.2. Aplicação ao Caso de Estudo

Segundo o Instituto Geográfico Português (IGEO) as Caldas da Rainha têm cerca de 2500 horas de sol por ano (Figura 63), sendo que apenas cerca de 1200 horas de sol estão aptas para produção fotovoltaica nesta zona do país (SOLTERM). Deste modo, para um sistema de 5,75kW produz-se 6900 kWh/ano, ou seja 761,76€/ano (tarifa da EDP: 0,1104€/kWh). Para um sistema de 3,68kW obtêm-se 4416kWh/ano, que rende 2870,4 €/ano (tarifa do regime bonificado: 0,65€/kWh). Como já se verificou nas soluções micro-eólicas, apesar de no regime geral haver uma maior produção de energia num ano, o resultado da venda de rede é bastante inferior.



**Figura 63:** Insolação média anual em Portugal Continental (IGEO, 2008).

Foram obtidos diversos custos típicos para a instalação e compra de equipamento fotovoltaico, descritos na Tabela 40.

**Tabela 40:** Custos típicos de aquisição e instalação de uma solução solar fotovoltaica.

Empresa	Instalação (€)	Equipamento (€/kWp)
EFACEC	1,918	5,900 – 6,550
GFSOLuções	2,700 – 3,600	5,420
Martifer	1,000 – 1,500	5,400 – 6,000
Net Plan	1,450 – 2,150	5,645 – 6,448
Self Energy	750 – 1,050	5,700 – 5,850

Com os dados alcançados foi realizado um pequeno estudo de viabilidade financeira para a instalação de diversas soluções fotovoltaicas para o regime geral e bonificado (Tabela 41).

**Tabela 41:** Estudo da viabilidade financeira para diferentes soluções solares fotovoltaicas.

Regime	Empresa	Investimento Inicial (€)	Energia Vendida (€/Ano)	Retorno do Investimento (Anos)
Geral (5,75kWp)	EFACEC	37711,75	761,76	49
	GFSOLuções	34315		45
	Martifer	34025		45
	Net Plan	36567,37		48
	Self Energy	34106,25		45
Geral (3,68kWp)	EFACEC	24826	487,53	50
	GFSOLuções	23095,6		47
	Martifer	22226		46
	Net Plan	24051,12		49
	Self Energy	22152		45
Bonificado (3,68kWp)	EFACEC	29626	2870,4	10
	GFSOLuções	27895,6		10
	Martifer	27026		9
	Net Plan	28851,12		10
	Self Energy	26951		9
Bonificado (2 kWp)	EFACEC	19168	1560	12
	GFSOLuções	18790		12
	Martifer	17450		11
	Net Plan	18693		12
	Self Energy	17250		11

**NOTA:** Para o investimento inicial foram adoptados custos médios dos valores fornecidos pelas diferentes entidades. O total é igual ao somatório entre o custo do equipamento e a sua instalação (Foram desprezados os custos com manutenção).

É de notar, pelos resultados alcançados, a grande diferença entre o período de retorno do investimento entre o regime geral e o bonificado, visto que a electricidade produzida nesta última modalidade é remunerada com um valor quase 6 vezes mais elevado. Para o regime geral o retorno do investimento varia entre os 45 e os 50 anos, com investimentos que oscilam entre os 22000 e os 38000€. Para o regime bonificado estes valores caem para os 17000-30000€ de custo inicial, sendo o payback de 9 a 12 anos.





## 7. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO

Foram estudados diferentes sistemas energéticos alternativos a implementar na moradia em estudo, de modo a chegar à solução mais vantajosa em termos energéticos, económicos e ambientais. Deste modo, obteve-se a seguinte solução óptima:

- Equipamento de Climatização: Bomba de calor para aquecimento e arrefecimento (3500€);
- Aquecimento de águas quentes sanitárias: 2 colectores SchücoSol S, depósito com um volume de armazenamento de 200l e com um sistema de apoio a gás butano (4101€);
- Isolamento Térmico: EPS de 80mm de espessura pelo interior (405€).

Na Tabela 42 estão ilustradas as necessidades nominais de energia para a solução óptima. A elevada eficiência das bombas de calor, a diminuição significativa das necessidades de energia para a preparação de AQS através da aplicação de colectores solares com um rendimento global elevado e a aplicação de isolamento térmico com um coeficiente de transmissão térmica baixo, concedeu à fracção autónoma uma classe de desempenho A<sup>+</sup>. Em termos energéticos esta solução é notável.

**Tabela 42:** Necessidades nominais de energia para a solução óptima.

Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nv (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Na (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
81,12	80,38	22,00	5,23	39,71	9,61
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,05		6,29		Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)

Já que a nível energético a solução óptima foi aprovada, com um Ntc de 1,05kgep/m<sup>2</sup>.ano, foi realizada uma análise económica comparativa com energia geotérmica e a situação de referência. Os resultados estão representados na Tabela 43.

**Tabela 43:** Análise comparativa da viabilidade económica da solução óptima com a solução geotérmica e o caso de estudo.

	Situação de Referência	Solução Óptima	Energia Geotérmica
Investimento Inicial (€)	4450	8006	29211
Factura Energética	673,89€/Ano	132,6€/Ano	246,46€/Ano
	56€/Mês	11€/Mês	20€/Mês

Os resultados são categóricos, a solução óptima é economicamente bastante atractiva, havendo uma poupança com a factura energética de 45€ por mês relativamente ao caso de estudo e de 9€ relativamente à geotermia, com um investimento de “apenas” 8006€. O investimento nesta solução, comparativamente à situação de referência, seria compensador ao fim de 7 anos.

Ambientalmente, a solução óptima também é a mais atractiva, como se pode comprovar pela Tabela 44.

**Tabela 44:** Análise comparativa ambiental da solução óptima com a solução geotérmica e o caso de estudo.

	Situação de Referência	Solução Óptima	Energia Geotérmica
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	3,89	1,05	1,44
CO <sub>2</sub> (ton <sub>eq</sub> /ano)	0,70	0,19	0,26
CO <sub>2</sub> (€/ano)	17,2	4,7	6,4

**NOTA:** Valor de mercado do CO<sub>2</sub> no dia 22 de Agosto de 2008: 24,55€/ton (PointCarbon).

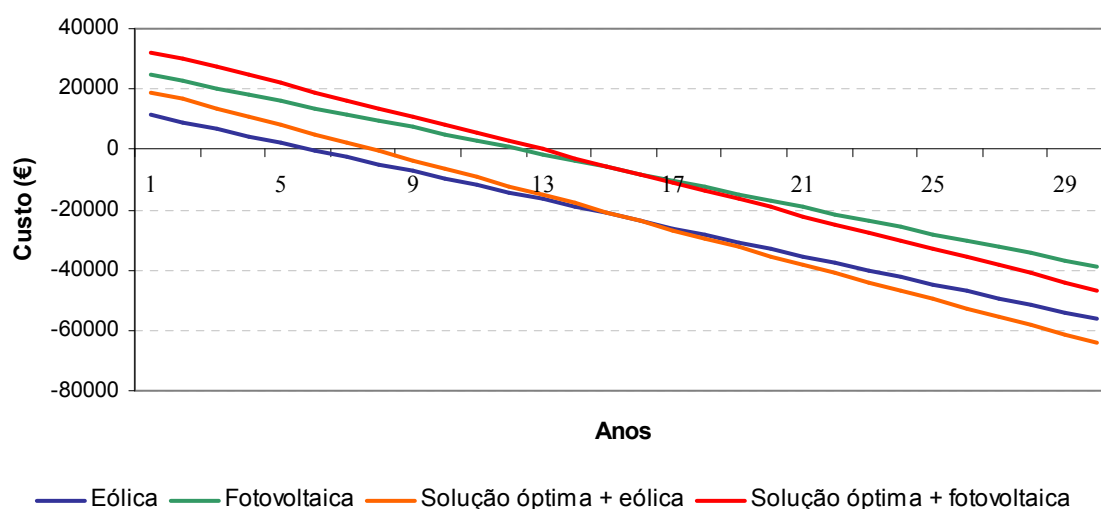
A solução óptima emite 0,19ton<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>/ano, muito mais baixo que as 0,7 toneladas para o caso de estudo, que reduziria o custo de 17,2 para 4,7€/ano.

Em termos energéticos, económicos e ambientais a solução óptima é a mais vantajosa para a moradia em estudo.

Vejamos agora se é aplicável a implementação de uma solução de microgeração para a alternativa seleccionada. Para tal, foi feita uma verificação da viabilidade económica para a implementação de energia eólica ou fotovoltaica para a fracção autónoma optimizada relativamente ao caso de estudo. A Figura 64 ilustra o custo para cada opção ao longo de um período de 30 Anos. Saliente-se que graficamente quando o custo tem sinal negativo representa os ganhos para o consumidor/vendedor de energia. Os dados utilizados para este estudo estão descritos na Tabela 45.

**Tabela 45:** Dados financeiros utilizados para análise da viabilidade de implementação de uma solução de microgeração.

	Situação de Referência	Solução Óptima	Energia Eólica	Energia Fotovoltaica
Investimento Inicial (€)	4450	8006	13781	26951
Factura Energética	673,89€/Ano	132,6€/Ano	-	-
	56€/Mês	11€/Mês		
Energia Vendida (€/Ano)	-	-	3013,9	2870,4



**Figura 64:** Análise comparativa da aplicação de soluções microeólicas.

O gráfico demonstra que a aplicação da solução ótima com energia eólica para venda de energia à rede é a mais vantajosa num período de 30 anos, em que o consumidor/vendedor começa a apresentar um resultado líquido positivo a partir do 8 ano. A utilização de energia eólica individualmente também é bastante atractiva, começando a apresentar lucro ao fim de 6 anos, contudo aos 16 passa a ser economicamente menos favorável do que a alternativa com a solução optimizada. Qualquer uma das soluções seria economicamente viável num período de 30 anos.

Tendo estudado o desempenho energético para a moradia e diferentes alternativas para o seu melhoramento, é possível agora realizar o seu certificado energético (Anexo A.3).



## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à existência de maiores exigências no conforto térmico assistiu-se a um aumento significativo do consumo de energia nos edifícios e consequentemente a um aumento da emissão de gases poluentes para a atmosfera. Este trabalho surgiu por isso com a necessidade de encontrar sistemas energéticos com baixos consumos de energia, contribuindo para uma diminuição das emissões de poluentes atmosféricos.

Neste trabalho utilizou-se a metodologia de cálculo do novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), publicado no Decreto de Lei 80/2006 de 4 de Abril, tendo em vista a verificação do desempenho energético de uma moradia localizada nas Caldas da Rainha.

De modo a analisar e otimizar o desempenho energético da moradia foram estudados vários sistemas energéticos alternativos: diferentes equipamentos de climatização, geotermia e produção de águas quentes sanitárias; diferentes sistemas solares, com volumes do depósito de armazenamento distintos e diferentes sistemas de apoio; e diversos tipos de isolamentos térmicos. Foi ainda estimada a viabilidade da aplicação de tecnologias de microgeração, nomeadamente energia eólica e fotovoltaica.

Ao avaliar a conformidade regulamentar da fracção autónoma na situação inicial, verificou-se que esta não cumpre os requisitos que se referem aos coeficientes de transmissão térmica máximos e às necessidades máximas para aquecimento permitidos pelo RCCTE. Para alcançar o cumprimento total do Regulamento foi adoptada uma solução construtiva de isolamento térmico com EPS nas paredes da fachada com 80mm de espessura pelo exterior, um isolamento térmico contínuo XPS de 100mm de espessura sobre a laje de esteira horizontal da cobertura do edifício e um isolamento de lã de vidro para o pilar, que representa uma ponte térmica plana, tendo-se obtido um Ntc de 3,89kgep/m<sup>2</sup>.ano (classe energética B). A exigência no que respeita à utilização de painéis solares possibilitou ainda uma redução significativa das necessidades para a preparação de AQS, com impacto nas necessidades globais de energia primária, Ntc de 2,17kgep/m<sup>2</sup>.ano (Classe Energética A). Com base nos resultados obtidos foi possível confirmar que a legislação que impõe qualidade para as características e o comportamento térmicos e ambiental dos edifícios teve um efeito muito positivo na redução dos gastos energéticos e, com isso, na minimização dos problemas de conforto, salubridade e ambientais associados.

Ao simular a aplicação de diferentes equipamentos de climatização e aquecimento de águas sanitárias verificou-se que a bomba de calor, devido ao seu elevado rendimento, é energeticamente a melhor solução. A aplicação destas para a climatização da moradia possibilitou uma redução substancial das necessidades globais de energia primária, obtendo-se um Ntc de 2,76kgep/m<sup>2</sup>.ano. Economicamente, o sistema em uso no caso de estudo para aquecimento a caldeira a combustível sólido, apesar do seu investimento inicial baixo, revelou-se o menos favorável devido aos elevados custos do combustível, onde o consumidor tem de pagar cerca de 56€/mês. A aplicação das bombas de calor para aquecimento e arrefecimento e uma caldeira mural com isolamento térmico de 100mm para produção de AQS, com um investimento inicial de 5900€, permitiria uma redução do custo mensal para 28€. Em termos ambientais, verificou-se que quanto maior a eficiência energética, menores são as emissões de CO<sub>2</sub> e por isso menor o custo associado. Para a situação inicial foram estimadas emissões de 0,7tonCO<sub>2</sub>/ano, ou seja, o equivalente a 17€/ano. Para uma solução energeticamente mais eficiente foi possível obter emissões até cerca de 0,2ton de CO<sub>2</sub> mais baixas, o que se traduziria numa redução de 5€ por ano.

Estudando painéis solares com maiores e menores eficiências e áreas, diferentes volumes do depósito de armazenamento e diferentes sistemas de apoio, verificou-se que para um sistema solar ser viável financeiramente depende fundamentalmente do sistema de apoio devido ao preço das diferentes energias, por isso a selecção de gás propano ou butano traduz-se em menores custos energéticos e logo numa maior rentabilidade. Ainda se constatou que quanto maior for o depósito de armazenamento, maior é a energia fornecida ao sistema, já que permite a diminuição

da energia desaproveitada devido ao maior armazenamento de água, uma vez que diminui o desperdício de energia captada que não seria aproveitada em virtude de esta exceder as necessidades de consumo. Sendo um dos elementos mais dispendiosos numa instalação solar, o depósito deve ser dimensionado de forma a que constitua um bom compromisso entre o acréscimo de custo de um depósito com dimensão superior à requerida pelas necessidades de consumo e a incapacidade de as satisfazer por subdimensionamento do depósito. Em termos ambientais o rendimento do sistema de apoio e a quantidade de energia fornecida ao sistema determinam o impacto ambiental evitado. De entre vários sistemas energéticos solares térmicos a melhor opção para a fracção autónoma seria a que utiliza colectores SchücoSol S, com um depósito com um volume de armazenamento de 200l e com um sistema de apoio a gás butano, com um investimento inicial de 4101€ e um payback de 13 anos. Esta solução permitiria um Ntc de 2,18kgep/m<sup>2</sup>.ano (Classe Energética A), evitando cerca de 0,925ton de emissões CO<sub>2</sub> por ano e o consumo anual de 3,95kWh de energia fóssil.

Foram ainda ensaiados diferentes materiais de isolamento para minimizar as perdas associadas à envolvente exterior, revestindo as paredes simples da fachada pelo interior ou pelo exterior, e de modo a que se verificassem os requisitos regulamentares. Os resultados obtidos demonstraram que o isolamento pelo interior é normalmente mais económico que o isolamento pelo exterior. A aplicação de 80mm de EPS pelo interior é a alternativa mais atractiva, com um investimento de 405€, uma vez que energeticamente não há diferenças significativas relativamente às restantes soluções.

Uma solução geotérmica para climatização e AQS para o caso de estudo necessitaria de um investimento de 29211,04€. Apesar do investimento inicial elevado esta alternativa conduziria a uma reduzida factura energética, cerca de 20€ por mês. Contudo, esta solução só seria economicamente mais vantajosa que a situação de referência ao fim de 58 anos, constatando que os sistemas de baixa entalpia ainda não são suficientes para produzir energia eléctrica de forma economicamente viável.

Perante todos os cenários estudados chegou-se a uma solução óptima para a fracção autónoma, composta por bomba de calor para aquecimento e arrefecimento, 2 colectores SchücoSol S com depósito com um volume de armazenamento de 200l e com um sistema de apoio a gás butano para AQS e isolamento térmico EPS de 80mm de espessura pelo interior. Esta aplicação concederia à moradia uma classe de desempenho máxima, A<sup>+</sup>, com um Ntc de 1,05kgep/m<sup>2</sup>.ano. O investimento de aproximadamente 8000€, comparativamente à situação de referência, seria compensador ao fim de 7 anos, já que permitiria uma poupança de 45€ por mês. Em termos ambientais haveria uma redução de 0,51 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, que se traduziria numa poupança de 12,5€ anuais em relação à situação de referência.

A principal conclusão deste estudo é que o acréscimo de investimento inicial devido à implementação de envolventes termicamente optimizadas, equipamentos mais eficientes e sistemas solares é facilmente recuperável e conduz a reduções de consumos energéticos anuais muito significativas. Como tal, a utilização de soluções inovadoras nessas tecnologias pode ser benéfica quer a nível ambiental, quer a nível energético, resultando assim em soluções que impulsionem o Desenvolvimento Sustentável.

Devido aos problemas ambientais e à tendência do crescimento do custo da electricidade produzida a partir de combustíveis fósseis, a microgeração apresenta-se como a melhor solução para a independência energética e também o maior contributo para o ambiente.

Uma tecnologia micro-eólica para a moradia seria uma alternativa bastante vantajosa. Com um investimento inicial entre os 13000 e os 25000€ para o regime bonificado (3,68kW), a elevada rentabilidade financeira que se obteria com a venda da energia eléctrica, cerca de 3000€/ano, permitiria um retorno do investimento entre os 5 e os 8 anos. Para uma solução solar fotovoltaica, o período de recuperação do investimento é ligeiramente superior, 9-10 anos, uma vez que o custo desta tecnologia também é mais elevado, entre os 26000 e os 30000€. No entanto, esta tecnologia também seria um investimento muito interessante, rendendo aproximadamente 2900€/ano.

## BIBLIOGRAFIA

ADENE; Agência para a Energia. Certificação Energética e Ar Interior – Edifícios. Publicação On-Line. 2008. Ver URL: <http://www.adene.pt>.

Aguiar, Ricardo. "Manual SolTerm 5.0". INETI; Departamento de Energias Renováveis. 2007.

Almeida, Aníbal; Patrão, Carlos; Fonseca, Paula; Moura, Pedro. "Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética". Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores; Universidade de Coimbra. 2005.

CEEETA. "Tecnologias de Micro-geração e Sistemas Periféricos". 2002.

Da Silva, Pedro Correia Pereira. "Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE". Tese de Mestrado em Engenharia Civil; Universidade do Minho. 2006.

Decreto-Lei nº40/90. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Publicado em Diário da Republica; Série I. 6 de Fevereiro de 1990.

Decreto-Lei nº78/2006. Ministério da Economia e da Inovação. Publicado em Diário da Republica; Série I-A; nº67. 4 de Abril de 2006.

Decreto-Lei nº79/2006. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Publicado em Diário da Republica; Série I-A; nº67. 4 de Abril de 2006.

Decreto-Lei nº80/2006. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Publicado em Diário da Republica; Série I-A; nº67. 4 de Abril de 2006.

DGGE. A Energia, os Recursos Geológicos e a Economia - Balanços Energéticos 1990 - 2005. Direcção Geral de Geologia e Energia. Publicação On-Line. 2008. Ver URL: <http://www.dgge.pt>.

Direcção Geral de Energia. "Energia Portugal 2001". Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente. 2002

Direcção Geral do Ambiente. Relatório de Estado do Ambiente 1999. Pág. 345-356. 2000.

EDP. Publicação online. 2008. Ver URL: <http://www.edp.pt>

ENAT – Energias Naturais; "Energia Geotérmica". Publicação On-Line. 2008. Ver URL: <http://www.enat.pt>.

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Publicação On-Line. 2008. Ver URL: <http://www.erse.pt>.

Fernandes, Alexandre. "Certificação Energética e Ar Interior - Edifícios". Apresentação no Seminário Conservação de Energia e Energias Renováveis no Sector Doméstico. 2007.

Gonçalves, Hélder. "Eficiência Energética em Edifícios, a Nova Regulamentação e Certificação Energética dos Edifícios". INETI; Departamento de Energias Renováveis. 2007.

Gore, Albert Arnold. "Uma Verdade Inconveniente". Esfera do Caos. 2006.

IEA 2002 Energy Balances. IEA Energy Statistics. International Energy Agency. Publicação Online. 2008. Ver URL: <http://www.iea.org/Textbase/stats/>.

IsKandar. "Microgeração - Produção e venda de energia eléctrica". Publicação Online. 2008. Ver URL: <http://www.iskandar.pt>

Ngowi, A.B. "A hybrid approach to house construction - a case study in Botswana". Building Research & Information, 25(3). 1997.

Pereira, Alcides; Neves, Luís; "Geotermia - Energia para um futuro sustentável"; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra; 2008.

PointCarbon. Publicação Online. 2008. Ver URL: <http://www.pointcarbon.com>.

Portaria nº 461/2007. Ministérios da Administração Interna, do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, da Economia e da Inovação e das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Publicado em Diário da Republica; 2ª Série, nº 108. 5 de Junho de 2007.

Ramos, João. "Modelação do Comportamento Térmico e Ambiental de Edifícios". Dissertação de Doutoramento em Engenharia Mecânica; Instituto Superior Técnico de Lisboa. 1997.

Sabady, P. "The Solar House". Helion Verlag; Zurique. 1979.

Santos, C.; Paiva, V. "ITE 12 – Caracterização térmica de Paredes de Alvenaria". Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 2004.

Santos, C.; Paiva, V. "ITE 12 – Caracterização térmica de pavimentos pré-fabricados". Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1990.

Santos, C.; Matias, L. "ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente". Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 2006.

Tzikopoulos, A.F.; Karatza, M.C.; Paravantis, J.A. "Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings". Energy and Building, 37, pág. 529-544. 2005.

Valério, Jorge Gustavo. "Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes". Tese de Mestrado em Engenharia Civil; Instituto Superior Técnico de Lisboa. 2007.



**ANEXOS**

<b>A.1. FOLHA DE CÁLCULO PARA A SITUAÇÃO INICIAL .....</b>	<b>86</b>
<b>A.2. ORÇAMENTO PARA UMA SOLUÇÃO GEOTÉRMICA .....</b>	<b>103</b>
<b>A.3. CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR.....</b>	<b>106</b>

## A.1. FOLHA DE CÁLCULO PARA A SITUAÇÃO INICIAL

### Folha de Cálculo FCIV.1a

#### Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Alçado principal R\chão (SO)	26,68	0,37	9,87
Alçado Posterior R\chão (NE)	33,54	0,37	12,41
Alçado lat. Esquerdo R\chão (NO)	20,58	0,37	7,61
Alçado lat. Direito R\chão (SE)	18,61	0,37	6,89
Sotão	12,86	0,37	4,76
Ponte plana (pilar)	3,25	0,9807064	3,19
Portas exteriores	3,12	0,9549338	2,98
<b>TOTAL</b>			<b>47,71</b>

Pavimentos Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Pavimento da cozinha sobre espaço térreo	3,96	0,81	3,21
<b>TOTAL</b>			<b>3,21</b>

Coberturas Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura inclinada	59,61	0,3	17,88
<b>TOTAL</b>			<b>17,88</b>

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Parte do chão da Cozinha	9	1,9	17,10
<b>TOTAL</b>			<b>17,10</b>

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	3,3	0,25	0,83
Fachada com os pavimentos	43,5	0,55	23,93
Fachada com pavimentos intermédios	7,2	0,20	1,44
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	38,55	0,5	19,28
Duas paredes verticais	20,8	0,15	3,12
<b>TOTAL</b>			<b>48,59</b>

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/°C)	<b>TOTAL</b>	<b>134,48</b>
--	--------	--------------	---------------

U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,37	Publicação do LNEC, página II.5, Quadro II.2 (A)
-----------------------------	------	--

U máx. (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,8	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Quadro IX.1
----------------------------------	-----	--

PILAR	
U =	0,9807064
(W/m <sup>2</sup> .°C)	

PORTAS	
U =	0,9549338
(W/m <sup>2</sup> .°C)	

Rsi	0,13	lã de vidro
R se	0,04	λ = 0,045
δ	0,25	δ = 0,025
λ	0,85	

Rsi	0,13
R se	0,04
δ	0,05
λ	0,057

U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,3	Publicação do LNEC, página II.81, Quadro II.19
-----------------------------	-----	--

U máx. (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,25	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Quadro IX.1
----------------------------------	------	--

Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Tabela IV.3  
Z<6

**Folha de Cálculo FCIV.1b**  
**Perdas associadas à Envolvente Interior**

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
circulação	10,42	1,30	0,3	4,06
Sotão	70,80	1,30	0,8	73,64
TOTAL				77,70

U (W/m².°C)	1,30	Publicação do LNEC, Pagina II.3 quadro II.1 (A) tijolo furado
-------------	------	---

U máx. (W/m².°C)	2	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Quadro XI.1
------------------	---	--

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
A totalidade do r/d/ch menos parte da cozinha	95,71	0,93	0,6	53,40
TOTAL				53,40

τ	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Tabela IV.1
---	--

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
sotão	29,7	0,35	0,8	8,32
TOTAL				8,32

U (W/m².°C)	0,93	Publicação do LNEC, Pagina II. 31 Quadro II. 8
-------------	------	--

U máx. (W/m².°C)	1,65	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Quadro XI.1
------------------	------	--

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	139,42
-------	--------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Cálculo do τ (-)		valor calculado através da relação Ai/Au
sotão		Ai-área separa espaço útil interior do esp. Não util
Ai/Au	0,5714461	Au-área separa esp. Não util do exterior
circulação		
Ai/Au	1,5928264	

## Anexos

	Vãos envidraçados exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
	<b>Verticais:</b>			0,00
Alçado Principal (SO)	J1	1,54	3,4	5,24
	J2	0,56	3,4	1,90
	P2	2,8	3,4	9,52
	P3	2,8	3,4	9,52
Alçado Posterior (NE)	J1	0,6	3,4	2,04
	J2	0,84	3,4	2,85
	J3	0,7	3,4	2,38
Alçado Lat. esq (NO)	J1	0,6	3,4	2,04
	J2	0,6	3,4	2,04
	J3	1,54	3,4	5,24
Alçado Lat. direito (SE)	J1	0,6	3,4	2,04
	J2	0,6	3,4	2,04
	J3	1,54	3,4	5,24
	<b>TOTAL</b>			52,09

Pag III.4 do regulamento quadro III.2  
vidro duplo com tipo de janela -  
giratória

espessura da lâmina de ar 6 mm

cortina interior opaca

U(W/m2.°C) 3,4

U (W/m <sup>2</sup> .°C)	3,4
-----------------------------	-----

Publicação do LNEC, página III.4,Quadro III.2 (A)

U máx. (W/m <sup>2</sup> .°C)	4,3
----------------------------------	-----

Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Quadro IX.3

	J1		1,54
	J2	Sudoeste (SO)	0,56
	P2		2,8
	P3		2,8
Alçado Posterior	J1	Nordeste (NE)	0,6
	J2		0,8394
	J3		0,7
Alçado Lat. Esquerdo	J1	Noroeste (NO)	0,6
	J2		0,6
	J3		1,54
Alçado Lat. Direito	J1	Sudeste (SE)	0,6
	J2		0,6
	J3		1,54

total 15,32

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de Pavimento		148,89	(m <sup>2</sup> )
Pé-direito médio		2,6	(m)
		=	
Volume interior	(V)	387,11	(m <sup>3</sup> )

*(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumpre a NP 1037-1? (S ou N)  se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="s/c"/>	Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1  RPH= <input type="text" value="0,95"/>
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="2"/>	
(Ver Quadro IV.2)			
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	

## Anexos

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)			
Caudal de Insuflação	Vins - (m³/h)	<input type="text"/>	Vf = <input type="text" value="0,00"/>
Caudal Extraído	Vev - (m³/h)	<input type="text"/>	
Diferença entre Vins e Vev	(m³/h)	<input type="text" value="0,00"/>	<div> V = <input type="text" value="0"/>  (volume int) RPH (**) </div>
Infiltrações (Vent. Natural)	Vx - (h⁻¹)	<input type="text"/>	se SIM, η = <input type="text"/> se NÃO, η = <input type="text" value="0"/>
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>	
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text" value="0,000"/>	(Vf / V + Vx).(1-η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))
Volume		<input type="text" value="387,11"/>	
		x	
Taxa de Renovação Nominal		<input type="text" value="0,950"/>	
		x	
		<input type="text" value="0,34"/>	
		=	
TOTAL		<input type="text" value="125,04"/>	(W/°C)

N.B.:

(\*\*) O valor acima determina a consideração ou não de infiltrações

1-Pag 40 do manual, quadro 2,15

Altura do edifício acima do solo <10m

Região A

Grau de rugosidade II

Logo o edifício é de classe de exposição 2

2-Pag 41 do regulamento quadro 2,16

### Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

g (-)	0,78	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Tabela IV.4.1
----------	------	--

g	0,37	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Quadro V.4
(-)		protecções interiores opacas

g max (-)	0,56	Decreto-Lei 80/2006 de 4 abril 2006, Quadro IX.2
--------------	------	--

Fator de orientação	Ângulo Horizonte
Quadro IV.4 do RCCTE	20° fora áreas urbanas

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m<sup>2</sup>)

2,78	J2	0,96	0,85	1	0,82
x	J3	0,96	0,85	1	0,82

	J1	Noroeste	0,96		0,86
108	J2		0,96	Fo.Ff=0,90	0,86
x	J3		0,96		0,86

6	J1	Sudeste	0,88	Fo.Ff=0,90	0,79
=	J2		0,88		0,79
1802,67	J3		0,88		0,79

## Anexos

### Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4	(W/m <sup>2</sup> )
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		6,00	(meses)
		x	
Área Útil de pavimento		148,89	(m <sup>2</sup> )
		x	
		0,72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		2572,82	(kWh/ano)

Tipo de elemento	Msi	S	r	Msi*r*S
Paredes exteriores	150	112,27	1	16841
cobertura exterior inclinada	0,75	59,61	1	45
Paredes interiores	0,75	81,22	1	61
chao da coz-contacto solo	150	3,96	1	594
Pavimento interior	350	95,71	0,5	16749
				34289
It	230,1299926		inercia	

Cálculo intermédio:

Se  $\gamma = 1$   $\eta = 0,7222222$

Se  $\gamma \neq 1$   $\eta = 0,9756282$

### Ganhos Úteis Totais:

$\gamma =$	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	4375,49
	Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	16236,82
Inércia do edifício:	2	a = 2,6
		$\gamma = 0,27$
(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)		
Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos	( $\eta$ )	0,98
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		4375,49
		=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)		4268,85

Msi	Tijolo f. s.	150
	laje	350
	Blocos c.	150



## Folha de Cálculo FC IV.1f

## Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

<b>Factor de forma</b>		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m <sup>2</sup>
Paredes exteriores		118,64
Coberturas exteriores		59,61
Pavimentos exteriores		3,96
Envidraçados exteriores		15,32
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		59,76817
Coberturas interiores		0,00
Pavimentos interiores		57,4245
Envidraçados interiores		0,00
Área total:		314,71
		/
Volume (de FCIV.1d):		387,11
		=
<b>FF</b>		0,81
<b>Graus-dias no local (°C.dia)</b>	(do Quadro III.1)	1500

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar	63,75
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1		81,120
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5		84,154
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5		107,325
<b>Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)</b>			81,12

Folha de Cálculo FC IV.2  
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	134,48
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	139,42
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	52,09
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	125,04
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	451,02
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1500,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	16236,82
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4268,85
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	11967,96
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	148,89
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	80,38
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	81,12

Verifica

O.K.  
Nic/Ni = 99,09%

## Folha de cálculo FCV.1a

## Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	47,71	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	3,21	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	17,88	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	52,09	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar (o efeito do recuperador de calor, caso exista, não deve ser considerado no Verão)	( valor final da FCIV.1d / (1-η))	125,04	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	245,92	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		21	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		4	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	245,92	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
<b>Perdas térmicas totais</b>	(Q1b)	2880,19	(kWh)

**Folha de Cálculo FC V.1b**  
**Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)**

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Área plana da cobertura	59,61	0,3	17,88
			0,00
			0,00
TOTAL			17,88

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

	Envidraçados Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Alçado Principal (SO)	J1	1,54	3,4	5,24
	J2	0,56	3,4	1,90
	P2	2,8	3,4	9,52
	P3	2,8	3,4	9,52
Alçado Posterior (NE)	J1	0,6	3,4	2,04
	J2	0,8394	3,4	2,85
	J3	0,7	3,4	2,38
Alçado Lat. esq (NO)	J1	0,6	3,4	2,04
	J2	0,6	3,4	2,04
	J3	1,54	3,4	5,24
Alçado Lat. direit (SE)	J1	0,6	3,4	2,04
	J2	0,6	3,4	2,04
	J3	1,54	3,4	5,24
				0,00
TOTAL				52,09

**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca**  
 POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL *(inclui paredes e cobertura)*

Orientação	SO	NE	NO	SE	Sotão	Cobertura	...	...
Área, A (m2)	26,68	33,54	20,58	18,61	12,86	59,61		
	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m2°C)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,3		
	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção, $\alpha$ (Quadro V.5)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
	=	=	=	=	=	=	=	=
$\alpha \cdot U \cdot A$ (W/°C)	3,95	4,96	3,05	2,75	1,90	7,15	0,00	0,00
	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	440	310	320	430	760	760		
	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b>	69,50	61,55	38,99	47,37	57,84	217,44	0,00	0,00
								<b>TOTAL</b>
								492,69

(kWh)

**Folha de Cálculo FC V.1d**  
**Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores**  
 POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	SO	SO	SO	SO	NE	NE	NE	NO	NO	NO	SE	SE	SE
Área, A (m <sup>2</sup> )	1,54	0,56	2,8	2,8	0,6	0,8394	0,7	0,6	0,6	1,54	0,6	0,6	1,54
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs	0,79	0,78	0,43	0,43	0,82	0,82	0,82	0,86	0,86	0,86	0,79	0,79	0,79
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, Ae	0,18	0,07	0,18	0,18	0,07	0,10	0,09	0,08	0,08	0,20	0,07	0,07	0,18
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	440	440	440	440	310	310	310	320	320	320	430	430	430
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b>	81,29	29,11	80,47	80,47	22,99	32,16	26,82	25,13	25,13	64,49	30,95	30,95	79,44
													<b>TOTAL</b>
													609,39 (KWh)

## Folha de cálculo FC V.1e

## Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m <sup>2</sup> ) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	148,89	
	x	
	2,93	
	=	
Ganhos internos Totais	1743,80	(KWh)

## Folha de cálculo FC V.1f

## Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	609,39	(KWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	492,69	(KWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	1743,80	(KWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	2845,89	(KWh)

**Folha de cálculo FCV.1g**  
**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)		2845,89	(kWh)
		/	
<b>Perdas Térmicas Totais</b> (FCV.1a)		2880,19	(kWh)
		=	
<b>Relação Ganhos-Perdas</b>	$\gamma$	0,99	
<b>Inércia do edifício</b>	(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	2	

Cálculo intermédio:

$$\gamma \neq 1 \quad a = 2,6 \quad \eta = 0,7265355$$

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, $\eta$ (Gráfico IV.1)	0,73	
	=	
	0,27	
	x	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	2845,89	<b>(kWh)</b>
	=	
<b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>	778,25	<b>(kWh/ano)</b>
	+	
<b>Consumo dos ventiladores</b> (se houver, exaustor da cozinha excluído)	(Ev=Pvx24x0,122(kWh))	
	=	
<b>TOTAL</b>	778,25	<b>(kWh/ano)</b>
	/	
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	148,89	
	=	
<b>Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc</b>	5,23	<b>(kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>
	≤	
<b>Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv</b> (Nº2 do Artigo 15º)	22	<b>(kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>

Verifica  
Nvc/Nv =

O.K.

23,76%



## Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Nº de ocupantes (Quadro VI.1)	5,00	
Consumo médio diário de referência de AQS ( $M_{AQS}$ ) (edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)	200,00	
Aumento de temperatura necessário ( $\Delta T$ ) (considerar igual a 45°C)	45,00	
Número anual de dias de consumo ( $n_d$ ) (Quadro VI.2)	365,00	
Energia despendida com sistemas convencionais ( $Q_a$ )	3820,64	(kW.h/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS ( $\eta_a$ ) (Ponto 3 do Anexo VI)	0,82	Caldeira mural com acumulação com menos de 50 mm isolam.)
$E_{solar}$		Programa SOLTERM
$E_{ren}$		
Necessidades de energia para preparação de AQS, $N_{ac}$	31,29	(kW.h/m <sup>2</sup> .ano)
Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, $N_a$	39,71	(kW.h/m <sup>2</sup> .ano)
<b><math>N_{ac} \leq N_a</math>?</b> Verifica		
$N_{ac}/N_a = 78,80\%$		

Necessidades Globais de Energia Primária

		(kW.h/ano)
<b>Ni</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	81,12	12078,78
<b>Nic</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	80,38	<b>11968,77</b>
<b>Nv</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	22,00	3275,80
<b>Nvc</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	5,23	<b>778,30</b>
<b>Na</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	39,71	5913,40
<b>Nac</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)	31,29	<b>4659,63</b>
$\eta_i$	0,60	Art. 18.º - ponto 2
$\eta_v$	3,00	Art. 18.º - ponto 2
<b>F<sub>pui</sub></b> (kgep/kW.h)	0,086	Art. 18º - ponto 1
<b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)	0,290	Art. 18º - ponto 1
<b>F<sub>pua</sub></b> (kgep/kW.h)	0,086	Art. 18º - ponto 1

Caldeira a combustivel solido  
Bomba de calor (arrefecimento)

Necessidades nominais globais de energia primária,  $N_{ic}$

3,89 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária,  $N_t$

6,29 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

$N_{tc} \leq N_t$ ? Verifica

$N_{tc}/N_t = 61,91\%$  classe desempenho energético B

## A.2. ORÇAMENTO PARA UMA SOLUÇÃO GEOTÉRMICA



### Orçamento de Geo Vertical nº 571/ 8 SMR

	DESCRIÇÃO	Q	PREÇO
	Grupo geotérmico interior de água glicolada/água, para aquecimento a 65° C, marca Alpha Innotec, modelo SWC 120 H de 11.9 kW, COP 4.7 (B0-W35), EN 255, 230 V, equipada com controlador inteligente Luxtronik, electrocirculador, purgador, válvula diferencial	1	8,913.04 €
	O controlador mural Luxtronik, de gestão inteligente, com regulação muito fácil através de um simples botão pulsante-rotativo. Possui um visor digital onde são mostradas numerosas funções práticas muito simples de programar, tais como, programa de secagem	0	0.00 €
	Sondas geotérmicas duplas, colectores, caixas de visita, tubos de enchimento e tubos de alimentação.	2	3,074.18 €
	Conjuntos de colectores geotérmicos, caixas de visita, tubos colectores de polietileno de secção apropriada, acessórios de aperto, válvulas de isolamento, purgadores, fluido anticongelante	1	1,041.95 €
	Grupos hidráulicos compostos por circuladores, módulos hidráulicos, válvula diferencial e colector VTB	0	0.00 €
	Válvula de 3 vias motorizada, 220 V, para distribuição automática e proporcional do fluido de aquecimento.	0	0.00 €

GudEnergy - Energias Renováveis, Lda  
T 26365272-F 263652528 - comercial@gudenergy.pt  
NIF 504 450 573 - C.R.C. Benavente 941  
Av. O Século, 21 2135-231 SAMORA CORREIA

Folha Orc 2/8

João Manso



## Orçamento de Geo Vertical nº 571 / 8 SMR

	DESCRIÇÃO	Q	PREÇO
	Vaso de expansão fechado em aço de alta qualidade, pintado exteriormente e provido de membrana especial, contendo azoto sob pressão, de capacidade apropriada à instalação e acessórios.	1	40.00 €
	Pack PRH cool composto por tubagem pex com barreira de oxigénio de 17 x 2 mm, isolamento pré-formatado 45-30-5, banda perimetral, líquido aglutinante.	0 m2	
	1 Depósito de inércia (balão tampão) de 100 litros, com protecção interior vitrificada, isolado com poliuretado e revestido exteriormente com envólucro em ABS	1	710.19 €
	Ventiloconvectores verticais de parede, termostatos, sondas, válvulas de corte, isolamento tipo Armaflex, tubo multicamadas, tubo PVC rígido diâmetro 25 e acessórios..	11	6,350.52 €
	Caixa de encaixe para colectores, colectores pré-montados com possibilidade de regulação dos circuitos composto por 1 colector de latão de ida com retentores incorporados, 1 colector de latão de retorno com válvulas eléctricas, 2 suportes metálicos ,vál	2	737.60 €
	Tubagem de cobre ou multicamadas/pex isolada c/ manga tipo Armaflex para alimentação dos colectores e acessórios,	2	766.40 €

GudEnergy - Energias Renováveis, Lda  
T 26365272-F 263652528 - comercial@gudenergy.pt  
NIF 504 450 573 - C.R.C. Benavente 941  
Av. O Século, 21 2135-231 SAMORA CORREIA

Folha Orc 3/8

João Manso



## Orçamento de Geo Vertical nº 571 / 8 SMR



Termoacumulador de água quente sanitária de 300 litros com permutador tipo serpentina. Ligações da água da rede e da água quente de R1.1/4". Peso 147 kg. Capacidade líquida de 290 litros.

1 2,168.70 €

Sub Total 23,802.57 €

Total sem montagem e sem IVA 23,802.57 €

Material diverso para a montagem, interligações hidráulicas e eléctricas, transportes e montagem dos equipamento 1 5,408.47 €

PREÇO DO EQUIPAMENTO MONTADO SEM IVA 29,211.04 €

Além do aquecimento do meio ambiente e do aquecimento das águas sanitárias, este equipamento ainda poderá, de Abril a Outubro, aquecer a água da piscina, diminuindo assim o tempo de retorno do investimento.

Valor anual estimado do consumo do aquecimento central: 167.08 €

Valor anual estimado do consumo do aquecimento das águas sanitárias: 79.38 €

### EXCLUSÕES:

IVA, equipamento de elevação, abertura dos furos geotérmicos, electricidade, água e esgotos, construção civil e todos os demais trabalhos não refetidos neste orçamento.

### CONDIÇÕES NORMAIS DE PAGAMENTO

35% com a adjudicação e restante contra entrega do equipamento ou outras acordadas com o Instalador.

PRazo DE VALIDADE: 30 dias

GudEnergy - Energias Renováveis, Lda  
T 26365272-F 263652528 - comercial@gudenergy.pt  
NIF 504 450 573 - C.R.C. Benavente 941  
Av. O Século, 21 2135-231 SAMORA CORREIA

Folha Orc 4/8

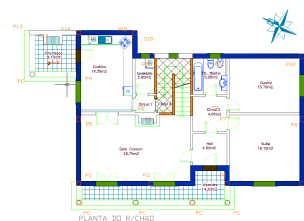
JoaoManso

## A.3. CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR



**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

Nº CER 1234567/2007



### CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

**TIPO DE EDIFÍCIO: EDIFÍCIO HABITAÇÃO UNIFAMILIAR / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. MULTIFAMILIAR**

Morada / Situação: Carrasqueira

Localidade Caldas da Rainha

Freguesia Vidais

Concelho Caldas da Rainha

Região Continente

Data de emissão do certificado 6 de Outubro de 2008

Validade do certificado \_\_\_\_\_

Nome do perito qualif. João Manso

Número do perito qualif. \_\_\_\_\_

Imóvel descrito na ☐ Conservatória do Registo Predial de \_\_\_\_\_

sob o nº ☐ Art. matricial nº \_\_\_\_\_

Fracção autón. \_\_\_\_\_

Este certificado resulta de uma verificação efectuada no edifício ou fracção autónoma, por um perito devidamente qualificado para o efeito, em relação aos requisitos previstos no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, Decreto-Lei 80/2008 de 4 de Abril), classificando o imóvel em relação ao respectivo desempenho energético. Este certificado permite identificar possíveis medidas de melhoria de desempenho aplicáveis à fracção autónoma ou edifício, suas partes e respectivos sistemas energéticos e ventilação, quer no que respeita ao desempenho energético e à qualidade do ar interior.

#### 1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

##### INDICADORES DE DESEMPENHO

Necessidades anuais globais estimadas da energia primária para climatização e águas quentes

kgep/m².ano

Valor limite máximo regulamentar para as necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes (limite inferior da classe B<sup>+</sup>)

kgep/m².ano

Emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes

toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano

##### CLASSE ENERGÉTICA



#### 2. DESAGREGAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL

Necessidades nominais de energia útil para...	Valor estimado para as condições de conforto térmico de referência	Valor limite regulamentar para as necessidades anuais
Aquecimento	80,38 kWh/m².ano	81,12 kWh/m².ano
Arefecimento	5,23 kWh/m².ano	22,00 kWh/m².ano
Preparação das águas quentes sanitárias	11,25 kWh/m².ano	39,71 kWh/m².ano

#### NOTAS EXPLICATIVAS

As necessidades nominais de energia útil correspondem a uma previsão da quantidade de energia que terá de ser consumida por m² de área útil do edifício ou fracção autónoma para manter o edifício nas condições de conforto térmico de referência e para preparação das águas quentes sanitárias necessárias aos ocupantes. Os valores foram calculados para condições convencionais de utilização, admitidas como idênticas para todos os edifícios, de forma a permitir comparações objectivas entre diferentes imóveis. Os consumos reais podem variar bastante dos indicados e dependem das atitudes e padrões de comportamento dos utilizadores.

As necessidades anuais globais de energia primária (estimadas e valor limite) resultam da conversão das necessidades nominais de energia útil em kilogranos equivalente de petróleo por unidade (kgep) de área útil do edifício, mediante aplicação de factores de conversão específicos para a(s) forma(s) de energia utilizada(s) (0,280 kgep/kWh para electricidade e 0,086 kgep/kWh para combustíveis sólidos, líquido ou gasoso) e tendo em consideração a eficiência dos sistemas adoptados ou, na sua falta, eficiência, sistemas convencionais de referência.

As emissões de CO<sub>2</sub> equivalente traduzem a quantidade anual estimada de gases de efeito de estufa que podem ser libertados em resultado da conversão de uma quantidade de energia primária igual às respectivas necessidades anuais globais estimadas para o edifício, usando o factor de conversão de 0,0012 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por kgep.

A classe energética resulta da razão entre as necessidades anuais globais estimadas e as máximas admissíveis de energia primária para aquecimento, arrefecimento e para preparação das águas quentes sanitárias no edifício ou fracção autónoma. O melhor desempenho corresponde à classe A<sup>+</sup>, seguida das classes A, B, B<sup>+</sup>, C e seguintes, até à classe G de pior desempenho. Os edifícios com licença ou autorização de construção posterior a 4 de Julho de 2008 apenas poderão ter classe energética igual ou superior a B<sup>+</sup>. Para mais informações sobre o desempenho energético, sobre a qualidade do ar interior e sobre a classificação energética de edifícios, consulte [www.adene.pt](http://www.adene.pt)

Entidade gestora



Entidade supervisoras do SCE



14



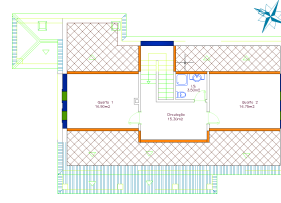
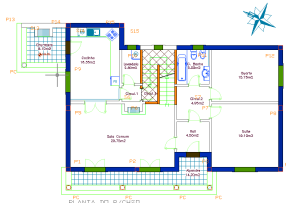
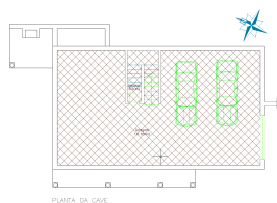
CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR | Nº CER 1234567/2007

Nº do perito qualificado

Data de emissão

Data de validade

## 3. DESCRIÇÃO SUCINTA DO EDIFÍCIO OU FRACÇÃO AUTÓNOMA



Área útil de pavimento 149 m²

Pé-direito médio ponderado 2,6 m

Ano de construção 2006

## 4. PROPOSTAS DE MEDIDAS DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória) (destacadas a negrito aquelas usadas no cálculo da nova classe energética)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
1 <b>Bomba de Calor para aquecimento e arrefecimento</b>			
2 <b>2 colectores SchücoSol S, depósito com um volume de armazenamento de 200l e com um sistema de apoio a gás butano</b>	☺☺☺	☺☺☺☺	☺☺☺
3 <b>Isolamento térmico EPS de 80mm de espessura pelo interior</b>			
4			
n			

As medidas de melhoria acima referidas correspondem a sugestões do perito qualificado na sequência da análise que este realizou ao desempenho energético e da qualidade do ar interior do edifício ou fracção autónoma e não pretendem pôr em causa as opções e soluções adoptadas pelo(s) arquiteto(s), projectista(s) ou técnico(s) de obra.

Legendas	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	☺☺☺☺ mais de 1000€ /ano	☺☺☺☺☺ mais de 5000€	☹☹☹☹ inferior a 5 anos
	☺☺☺ entre 500 e 999€ /ano	☺☺☺ entre 1000 e 4999€	☹☹☹ entre 5 e 10 anos
	☺☺ entre 100 e 499€ /ano	☺☺ entre 200 e 999€	☹☹ entre 10 e 15 anos
	☺ menos de 100€ /ano	☺ menos de 200€	☹ mais de 15 anos

SE FOREM CONCRETIZADAS TODAS AS MEDIDAS DESTACADAS NA LISTA, A CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA PODERÁ SUBIR PARA...

A<sup>+</sup>

Pressupostos e observações a considerar na interpretação da informação apresentada:



## 5. PAREDES, COBERTURAS E PAVIMENTOS

## PAREDES

Coefficiente de transmissão  
térmica superficial (U) em W/m<sup>2</sup>.°C

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	da solução	máximo regulamentar
<ul style="list-style-type: none"> <li>Paredes simples de fachada constituídas por tijolo furado com espessura da alvenaria 0,24m com revestimentos aderentes em ambas as faces e isolamento de 80mm de EPS pelo interior (Paredes Exteriores)</li> </ul>	0,37	1,80
<ul style="list-style-type: none"> <li>Paredes simples sem isolamento constituídas por tijolo furado com espessura da alvenaria 0,20m com revestimentos aderentes em ambas as faces (Envoltório interior)</li> </ul>	1,30	2,00

## COBERTURAS

Coefficiente de transmissão  
térmica superficial (U) em W/m<sup>2</sup>.°C

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	da solução	máximo regulamentar
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cobertura inclinada constituída por blocos de cofragem cerâmicos com espessura da laje de 0,33m e com isolamento térmico contínuo XPS de 100mm sobre a esteira horizontal</li> </ul>	0,30	1,25

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta \_\_\_\_\_

## PAVIMENTOS

Coefficiente de transmissão  
térmica superficial (U) em W/m<sup>2</sup>.°C

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	da solução	máximo regulamentar
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pavimento de laje maciça com 0,20m de espessura sem tecto falso, aplicado directamente sobre a betonilha</li> </ul>	0,88	1,65

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n.º \_\_\_\_\_

## 6. VAOS ENVIDRAÇADOS

Factor solar

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	da solução	máximo regulamentar
<ul style="list-style-type: none"> <li>Janelas de alumínio com quadricula, Vidro duplo incolor+incolor, (4 a 8) mm + 4 mm e Protecções interiores opacas de cor clara</li> </ul>	0,37	0,56

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n.º \_\_\_\_\_

Nota: Apenas vãos envidraçados com área superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem, não orientados a Norte e considerando o(s) respectivo(s) dispositivo(s) de protecção 100% activos (portadas, persianas, estores, cortinas, etc.)

## 7. CLIMATIZAÇÃO

## SISTEMA(S) DE AQUECIMENTO

Necessidades anuais  
de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Caldeira a combustível sólido</li> </ul>	11968,77 kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta ... Bomba de calor





CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR | Nº CER 1234567/2007

Nº do perito qualificado

Data de emissão

Data de validade

**SISTEMA(S) DE ARREFECIMENTO**Necessidades anuais  
de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- Bomba de calor

778,30

kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta

**8. PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS (AQS)****SISTEMAS CONVENCIONAIS (USAM ENERGIA NÃO RENOVÁVEL)**Necessidades anuais  
de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- Caldeira Mural

4659,63

kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

**9. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS****SISTEMA DE COLECTORES SOLARES PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA**Energia fornecida  
pelo sistema

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- 3 colectores, com um depósito típico de 200l associado a um permutador e com um sistema de apoio a gás natural

1674,43

kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

2 colectores SchücoSol S, com um depósito com um volume de armazenamento de 200l e com um sistema de apoio a gás butano

**OUTROS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS**Energia fornecida  
pelo sistema

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- 

kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n Sistema micro-eólico de 3,68kW

**10. VENTILAÇÃO**

Descrição dos principais elementos envolvidos e da forma como se processa a ventilação

- Ventilação natural no WC com exaustor na cozinha

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

**OBSERVAÇÕES E NOTAS AO PRESENTE CERTIFICADO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR**

- 

-